

S02P0314US00

日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 3月 8日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-065073

[ST.10/C]:

[JP2001-065073]

出 願 人

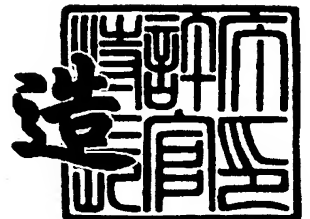
Applicant(s):

ソニー株式会社

2002年 1月18日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3116723

【書類名】 特許願

【整理番号】 0100005704

【提出日】 平成13年 3月 8日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04B 1/10

【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区東五反田3丁目14番13号 株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所内

【氏名】 ユーン ヤン

【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区東五反田3丁目14番13号 株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所内

【氏名】 河野 隆二

【特許出願人】

【識別番号】 000002185

【氏名又は名称】 ソニー株式会社

【代理人】

【識別番号】 100082131

【弁理士】

【氏名又は名称】 稲本 義雄

【電話番号】 03-3369-6479

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 032089

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9708842

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 通信装置および通信方法、並びにプログラムおよび記録媒体

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の通信端末との間で通信を行う通信装置であって、

前記複数の通信端末からの、UWB(Ultra Wide Band)通信による送信信号に対応する受信信号と、前記複数の通信端末それぞれの送信信号として配置され得るパルスとの相関を演算する相関演算手段と、

前記相関に基づき、前記複数の通信端末からの送信信号どうしの干渉を考慮して、前記複数の通信端末それぞれが送信してきたデータを復調する復調手段とを備えることを特徴とする通信装置。

【請求項 2】 前記通信端末が送信する送信信号は、データを、多値パルス位置変調したものである

ことを特徴とする請求項 1 に記載の通信装置。

【請求項 3】 前記通信端末が送信する送信信号は、データを、多値直交変調したものである

ことを特徴とする請求項 1 に記載の通信装置。

【請求項 4】 前記復調手段は、前記相関に基づき、前記複数の通信端末からの送信信号どうしの干渉を考慮して、最適なシンボルまたはシンボル系列を検出することにより、データの復調を行う

ことを特徴とする請求項 1 に記載の通信装置。

【請求項 5】 前記復調手段は、前記相関、前記送信信号として配置され得るパルスどうしの相関からなる相関行列、前記送信信号のエネルギー、および前記パルスが配置され得る位置に基づいて、最尤推定を行うことにより、最適なシンボルまたはシンボル系列を検出する

ことを特徴とする請求項 4 に記載の通信装置。

【請求項 6】 前記復調手段は、前記相関に基づき、前記複数の通信端末からの送信信号どうしの干渉を考慮して、準最適なシンボルまたはシンボル系列を検出することにより、データの復調を行う

ことを特徴とする請求項 1 に記載の通信装置。

【請求項 7】 前記復調手段は、

前記相関を、前記送信信号として配置され得るパルスどうしの相関からなる相関行列の逆行列によって変換する変換手段と、

前記変換手段の出力に基づいて、準最適なシンボルまたはシンボル系列を検出する検出手段と

を有する

ことを特徴とする請求項 6 に記載の通信装置。

【請求項 8】 前記復調手段は、平均自乗誤差を最小にするように、前記相関を変換し、その変換後の相関に基づいて、準最適なシンボルまたはシンボル系列を検出する

ことを特徴とする請求項 6 に記載の通信装置。

【請求項 9】 複数の通信端末との間で通信を行う通信方法であって、

前記複数の通信端末からの、UWB(Ultra Wide Band)通信による送信信号に対応する受信信号と、前記複数の通信端末それぞれの送信信号として配置され得るパルスとの相関を演算する相関演算ステップと、

前記相関に基づき、前記複数の通信端末からの送信信号どうしの干渉を考慮して、前記複数の通信端末それぞれが送信してきたデータを復調する復調ステップと

を備えることを特徴とする通信方法。

【請求項 10】 複数の通信端末との通信を、コンピュータに行わせるプログラムであって、

前記複数の通信端末からの、UWB(Ultra Wide Band)通信による送信信号に対応する受信信号と、前記複数の通信端末それぞれの送信信号として配置され得るパルスとの相関を演算する相関演算ステップと、

前記相関に基づき、前記複数の通信端末からの送信信号どうしの干渉を考慮して、前記複数の通信端末それぞれが送信してきたデータを復調する復調ステップと

を備えることを特徴とするプログラム。

【請求項 11】 複数の通信端末との通信を、コンピュータに行わせるプロ

グラムが記録されている記録媒体であって、

前記複数の通信端末からの、UWB(Ultra Wide Band)通信による送信信号に対応する受信信号と、前記複数の通信端末それぞれの送信信号として配置され得るパルスとの相関を演算する相関演算ステップと、

前記相関に基づき、前記複数の通信端末からの送信信号どうしの干渉を考慮して、前記複数の通信端末それぞれが送信してきたデータを復調する復調ステップと

を備えるプログラムが記録されている

ことを特徴とする記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、通信装置および通信方法、並びにプログラムおよび記録媒体に関し、特に、UWB(Ultra Wide Band)通信において、マルチアクセスを可能にする通信装置および通信方法、並びにプログラムおよび記録媒体に関する。

【0002】

【従来の技術】

UWB通信は、インパルス通信(impulse radio)とも呼ばれ、例えば、M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Impulse radio; How it works", IEEE Communication Letters, vol. 2, pp. 36-38, Feb. 1998 (以下、文献1という)や、L. Fullerton, "UWB waveforms and coding for communications and radar", Proc. IEEE TeleSystems, Conf., pp. 139-141, Mar. 26-27, 1991 (以下、文献2という)、R. A. Scholtz, "Answers to questions posed by Bob Lucky, Chairman of the FCC's Technical Advisory Committee (e-mail correspondence", <http://ultra.usc.edu/ulab>, June 29, 1999 (以下、文献3という)等にあるように、各種の通信アプリケーションへの適用が検討されている。

【0003】

UWB通信では、非常に幅の短いパルスが、低電力で、キャリアなしで送信されることによって、データの送受信が行われる。このように、UWB通信では、非常

に幅の短いパルスが送受信されることから、例えば、上述の文献1や2等に記載されているように、数GHzオーダの広帯域が使用される。

【0004】

UWB通信は、非常に広い帯域を使用することから、例えば、M. Z. Win and R. A. Scholtz, "On the robustness of ultra-wide bandwidth signals in dense multipath environments", IEEE Communication Letters, vol. 2, pp. 51-53, Feb. 1998 (以下、文献4という) や、J. M. Cramer, R. A. Scholtz, and M. Z. Win, "On the analysis of UWB communication channels", Proc. IEEE Military Communications Conf., pp. 1191-1195, Oct. 31 to Nov. 3, 1999 (以下、文献5という) 等に記載されているように、壁等の障害物があっても通信が可能、フェージングが非常に少ない、時間解像度が高い、処理利得が非常に高い等の多くの利点を有する。

【0005】

さらに、UWB通信は、キャリアが用いられないことから、RF(Radio Frequency)信号やIF(Intermediate Frequency)信号を処理する回路が不要であり、装置の小型化、低電力化等を図ることができる。

【0006】

以上のように、UWB通信は、従来の狭帯域または広帯域の無線通信や、赤外線通信等に比較して、多くの長所を有している。

【0007】

このようなUWB通信については、例えば、J. S. Gage, "Catching the wave; Breakthroughs in wireless technology", MD Computing: The Leading Edge in Medical and Healthcare Informatics, vol. 16 March/April 1999 (以下、文献6という) や、M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications", IEEE Trans. Communications, vol. 48, pp. 679-691, Apr. 2000 (以下、文献7という) 等に記載されているように、無線LANや、医療その他に関する情報分配システム、屋内外のマルチアクセス通信システム、測距装置、その他各種のシステムへの適用が検討されている。

【0008】

さらに、UWB通信のアプリケーションの適用にあたっては、複数の通信端末との間で通信を行うマルチアクセス（マルチユーザ）の要請も高いことから、例えば、上述の文献7や、R. A. Scholtz, "Multiple access with time-hopping impulse modulation", Proc. IEEE Military Communications Conf. (Boston, U.S.), pp.447-450, Oct., 11-14, 1993（以下、文献8という）、F. Ramirez-Mireles and R. A. Scholtz, "Multiple-access performance limits with time hopping and pulse position modulation", Proc. IEEE Military Communications Conf., pp.529-533, Oct., 18-21, 1998（以下、文献9という）等では、UWB通信によるマルチアクセスについての検討が行われている。

【0009】

これらの文献7乃至9で提案されている、UWB通信によるマルチアクセスを実現するシステムは、概念的には、非同期のCDMA(Code Division Multiple Access)方式の通信システムと同様のものであり、各ユーザ（複数の通信端末それぞれ）の送信信号は、同一の周波数帯域を共有し、さらに、すべてのユーザに亘って直交している必要はない。

【0010】

UWB通信によるマルチアクセスの多重アクセス容量(multiple-access capability)は、主として、処理利得によって決定される。ここで、UWB通信における処理利得は、UWB通信に用いられるパルスの周波数帯域幅と、パルス（またはシンボル）の周波数との比によって求められるが、UWB通信では、上述のように非常に広い周波数帯域を使用することから、高い処理利得を得ることができる。このため、UWB通信は、その処理利得の高さから、パワーが制限されるアプリケーションに適した変調を行うことができる点で、CDMA通信と大きく異なる。

【0011】

例えば、上述の文献1, 7乃至9では、各ユーザの、パルス位置変調された送信信号の送信タイミングを、疑似乱数によるタイムホッピング系列を用いてタイムホッピング(time-hopping)することで、UWB通信によるマルチアクセスを実現することが提案されている。

【0012】

ここで、パルス位置変調とは、送信するデータに応じて、パルスの位置を変更するもので、所定の長さの単位区間を1シンボルに対応させ、各単位区間を、M個の位置で区切り、送信するデータに対応した位置にパルスを配置する変調方式である。また、タイムホッピングとは、シンボル（単位区間）を、ある一定の周期で送信するのではなく、その一定の周期から、ランダムにずれたタイミングで送信するように、送信タイミングをずらす（ホッピングする）ことを意味する。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】

既に提案されているUWB通信によるマルチアクセス方式では、受信側において、パルス位置変調された送信信号の各単位区間のどの位置にパルスが配置されているかを検出するシングルユーザ用の復調器が用いられる。

【0014】

シングルユーザ用の復調器は、受信信号と、単位区間の各位置に配置され得るパルスそれぞれとのマッチングを行うフィルタからなるフィルタバンク、およびそのフィルタバンクを構成するフィルタのうち、最大の出力が得られるものを検出し、そのフィルタにおいて受信信号とのマッチングに用いられたパルスの位置に対応する値を、復調データとして出力する検出器から構成される。

【0015】

マルチアクセス方式では、ユーザどうしの送信信号のパルスは、理想的には、重なり合うことがなく、このような理想的な条件の下では、シングルユーザ用の復調器は、加法性白色ガウス雑音環境下において、パルス位置変調された信号を復調する最適な復調器となる。なお、この場合、シングルユーザ用の復調器は、例えば、A. Duel-Hallen, J. Holtzman and Z. Zvonar, "Multiuser detection for CDMA systems", IEEE Personal Communications Magazine, Vol.2, pp.46-58, Apr. 1995 (以下、文献10という) や、S. Moshavi, "Multi-user detection for DS-CDMA communications", IEEE Communications Magazine, Vol.34, pp.124-136, Oct. 1996 (以下、文献11という)、S. Verdu, Multiuser Detection, Cambridge University Press, 1998 (以下、文献12という) 等に記載され

ているように、CDMA方式で用いられるシングルユーザ用のマッチドフィルタ(matched filter)と同様のものとなる。

【 0 0 1 6 】

しかしながら、マルチアクセスを実現する場合においては、実際には、ユーザどうしの送信信号のパルスは干渉を起こし、さらに、この干渉（以下、適宜、MAI(Multiple Access Interference)または他局間干渉という）は、一般に、ガウシアンにはならない。そして、このようにMAIが生じる環境下では、従来のシングルユーザ用の復調器は、もはや、最適な復調器ではなくなる。

【 0 0 1 7 】

そして、マルチアクセスのユーザ数が増加するほど、MAIは増加し、このMAIの増加は、シングルユーザ用の復調器において、各種の悪影響を生じる要因となる。なお、その他、高レートのデータ転送を行う場合も、PRFが大となるから、処理利得が減少し、これにより、MAIは増加する。

【 0 0 1 8 】

本発明は、このような状況に鑑みてなされたものであり、UWB通信によるマルチアクセスを高いパフォーマンスで可能にする復調器を提供することができるようにするものである。

【 0 0 1 9 】

【課題を解決するための手段】

本発明の通信装置は、複数の通信端末からの、UWB(Ultra Wide Band)通信による送信信号に対応する受信信号と、複数の通信端末それぞれの送信信号として配置され得るパルスとの相関を演算する相関演算手段と、相関に基づき、複数の通信端末からの送信信号どうしの干渉を考慮して、複数の通信端末それぞれが送信してきたデータを復調する復調手段とを備えることを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

本発明の通信方法は、複数の通信端末からの、UWB(Ultra Wide Band)通信による送信信号に対応する受信信号と、複数の通信端末それぞれの送信信号として配置され得るパルスとの相関を演算する相関演算ステップと、相関に基づき、複数の通信端末からの送信信号どうしの干渉を考慮して、複数の通信端末それぞれが

送信してきたデータを復調する復調ステップとを備えることを特徴とする。

【 0 0 2 1 】

本発明のプログラムは、複数の通信端末からの、UWB(Ultra Wide Band)通信による送信信号に対応する受信信号と、複数の通信端末それぞれの送信信号として配置され得るパルスとの相関を演算する相関演算ステップと、相関に基づき、複数の通信端末からの送信信号どうしの干渉を考慮して、複数の通信端末それぞれが送信してきたデータを復調する復調ステップとを備えることを特徴とする。

【 0 0 2 2 】

本発明の記録媒体は、複数の通信端末からの、UWB(Ultra Wide Band)通信による送信信号に対応する受信信号と、複数の通信端末それぞれの送信信号として配置され得るパルスとの相関を演算する相関演算ステップと、相関に基づき、複数の通信端末からの送信信号どうしの干渉を考慮して、複数の通信端末それぞれが送信してきたデータを復調する復調ステップとを備えるプログラムが記録されていることを特徴とする。

【 0 0 2 3 】

本発明の通信装置および通信方法、並びにプログラムにおいては、複数の通信端末からの、UWB(Ultra Wide Band)通信による送信信号に対応する受信信号と、複数の通信端末それぞれの送信信号として配置され得るパルスとの相関が演算され、その相関に基づき、複数の通信端末からの送信信号どうしの干渉を考慮して、複数の通信端末それぞれが送信してきたデータが復調される。

【 0 0 2 4 】

【発明の実施の形態】

図 1 は、本発明を適用した UWB 通信システム（システムとは、複数の装置が論理的に集合した物をいい、各構成の装置が同一筐体中にあるか否かは問わない）の一実施の形態の構成例を示している。

【 0 0 2 5 】

図 1 の実施の形態においては、UWB 通信システムは、 $K + 1$ の通信装置 $1_1, 1_2, \dots, 1_{K+1}$ から構成されており、各通信装置 1_k は、送信すべきデータを、例えば、パルス位置変調し、その変調信号を、無線による送信信号として、UWB

通信方式により、伝送路 2 を介して送信する。さらに、各通信装置 1_k は、そのようにして他の通信装置 1_k から伝送路 2 を介して送信されている信号を受信して、元のデータに復調する。ここで、以下、適宜、通信装置 1_k のユーザを、ユーザ # k という。

【 0 0 2 6 】

即ち、 $K+1$ の通信装置 $1_1, 1_2, \dots, 1_{K+1}$ のうちの、例えば、通信装置 1_{K+1} に注目すれば、通信装置 1_{K+1} は、他の K 人のユーザ # 1, # 2, \dots , # K の通信装置 $1_1, 1_2, \dots, 1_K$ それぞれとの間との通信であるマルチアクセス通信を行うことができるようになっており、各ユーザからの送信信号に対応する受信信号を復調して、各ユーザについての復調データを出力する。

【 0 0 2 7 】

なお、同様に、通信装置 1_{K+1} 以外の通信装置 $1_1, 1_2, \dots, 1_K$ においても、他の K 個の通信装置との間で、マルチアクセス通信が可能となっているが、以下においては、通信装置 1_{K+1} に注目して、説明を行う。

【 0 0 2 8 】

また、図 1 のような UWB 通信システムは、例えば、無線 LAN 等に適用することが可能である。

【 0 0 2 9 】

図 2 は、図 1 の通信装置 1_{K+1} の構成例を示している。なお、他の通信装置 $1_1, 1_2, \dots, 1_K$ も、通信装置 1_{K+1} と同様に構成される。

【 0 0 3 0 】

通信装置 1_{K+1} は、UWB 変調部 1 1、アンテナ 1 2、および UWB 復調部 1 3 から構成される。

【 0 0 3 1 】

UWB 変調部 1 1 には、送信すべきデータが供給されるようになっており、UWB 変調部 1 1 は、そこに供給されるデータにしたがってパルス（インパルス）の配置を決定するパルス位置変調を行い、その結果得られる変調信号を、タイムホッピングしながら、アンテナ 1 2 に供給する。

【 0 0 3 2 】

アンテナ 1 2 は、UWB変調部 1 1 からの変調信号を、電波で送信する。また、アンテナ 1 2 は、他の通信装置 1 からの電波を受信し、その受信信号を、UWB復調部 1 3 に供給する。

【 0 0 3 3 】

UWB復調部 1 3 は、アンテナ 1 2 からの受信信号を、後述するようにして復調し、その結果得られる復調データを出力する。

【 0 0 3 4 】

図 3 は、図 2 の UWB復調部 1 3 の構成例を示している。

【 0 0 3 5 】

UWB復調部 1 3 は、相関部 2 1 とシンボル検出部 2 2 から構成されている。

【 0 0 3 6 】

相関部 2 1 には、アンテナ 1 2 からの受信信号が供給されるようになっており、相関部 2 1 は、その受信信号と、複数の通信端末 1_1 乃至 1_K それぞれの送信信号として配置され得るパルスとの相関を演算し、シンボル検出部 2 2 に供給する。シンボル検出部 2 2 は、相関部 2 1 から供給される相関に基づき、複数の通信端末 1_1 乃至 1_K からの送信信号どうしの干渉を考慮して、その複数の通信端末 1_1 乃至 1_K それぞれが送信してきたデータを復調して出力する。

【 0 0 3 7 】

次に、図 3 の UWB復調部 1 3 の処理について、マルチユーザの UWB通信システムをモデル化し、そのモデルに基づいて説明する。

【 0 0 3 8 】

例えば、前述の文献 1 や 7 には、加法性白色ガウス雑音環境下におけるマルチアクセスのモデルについて記載されているが、マルチユーザの UWB通信システムのモデル化にあたっては、基本的には、この文献 1 や 7 に記載されているモデルを利用することができる。即ち、マルチユーザの UWB通信システムのモデル化は、例えば、J. R. Barry, "Sequence detection and equalization for pulse-position modulation", Proc. IEEE Intl. Conf. Communications, pp.1561-1565, May 1-5, 1994 (以下、文献 1 3 という) に記載されているように、等価ベクトルモデルの導入等を除いて、基本的には、文献 1 や 7 に記載されている加法性白

色ガウス雑音環境下におけるマルチアクセスのモデルを利用することができる。

【 0 0 3 9 】

なお、等価ベクトルモデルは、パルス位置変調についてだけでなく、直交変調についても適用することができる。即ち、ここでは、パルス位置変調を行うこととしているが、直行変調を行うことも可能であり、直交変調を行う場合も、以下説明するパルス位置変調の場合と同様に処理することが可能である。

【 0 0 4 0 】

加法性白色ガウス雑音環境下におけるマルチアクセスのモデルでは、ユーザ # $K+1$ (通信装置 1_{K+1}) の受信信号 $r(t)$ は、ユーザ # k (通信装置 1_k) による送信信号を $s^{(k)}(t)$ として、次式で表すことができる。

【 0 0 4 1 】

【数 1】

$$r(t) = \sum_{k=1}^K s^{(k)}(t) + n(t)$$

... (1)

【 0 0 4 2 】

但し、 t は時刻を表し、 $n(t)$ は、平均値が 0 で、電力スペクトル密度が $N_0/2$ の白色ガウス雑音を表す。なお、 N_0 は、白色ガウス雑音の平均電力を表す。

【 0 0 4 3 】

式 (1) におけるユーザ # k の送信信号 $s^{(k)}(t)$ は、次式で表すことができる。

【 0 0 4 4 】

【数 2】

$$s^{(k)}(t) = \sqrt{E_s^{(k)}} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M b_n^{(k,m)} a^{(m)}(t - nT_s - T_n^{(k)})$$

... (2)

【 0 0 4 5 】

ここで、 $E_S^{(k)}$ は、ユーザ# k の送信信号のシンボルエネルギーを表し、ここでは、すべてのユーザのシンボルエネルギー $E_S^{(1)}$ 、 $E_S^{(2)}$ 、 \dots 、 $E_S^{(K)}$ は、 E_S で、等しいものと仮定する。但し、このような仮定をしなくても、特に問題はない。

【0046】

式(2)における N は、各ユーザ# k が送信したシンボルの数(シンボル系列検出を行う場合に、一度に検出するシンボルの数)を表し、 T_S は、各ユーザ# k のシンボル送信間隔を表す。従って、 $1/T_S$ は、シンボルレートを表すこととなるが、このシンボルレートは、UWB通信では、パルス繰り返し周波数(PRF(Pulse Repetition Frequency))とも呼ばれる。

【0047】

式(2)における M は、シンボルの基本サイズを表し、送信データがパルス位置変調される場合には、所定の長さの単位区間の分割数を表す。単位区間を M 個に分割した各位置(正確には、単位区間を M 個に分割して得られる M 個の分割片)は、チップと呼ばれ、1シンボルのチップ数が M 個であり、かつ送信するデータに応じて、 M 個の位置のうちのいずれか1つにのみパルスが配置される場合には、1シンボルあたり、 $\log_2 M$ ビットのデータが送信されることになる。

【0048】

式(2)における $b_n^{(k,m)}$ は、ユーザ# k の送信信号における n 番目のシンボルとしての単位区間の m 番目の位置に、パルスが配置される場合は、1とされ、パルスが配置されない場合は、0とされる。従って、 $b_n^{(k,m)}$ を要素とするベクトル $b_n^{(k)} = [b_n^{(k,1)}, b_n^{(k,2)}, \dots, b_n^{(k,M)}]^T$ は、ユーザ# k の送信信号における n 番目のシンボルを表す(上付の T は、転置を表す)。

【0049】

なお、ここでは、ベクトル $b_n^{(k)}$ の M 個の要素 $b_n^{(k,m)}$ は、そのうちのいずれか1つのみが1となり、他の $M-1$ 個の要素は0となるものとする。即ち、送信するデータに応じて、単位区間における M 個の位置のうちのいずれか1つにのみパルスが配置されるものとする。この場合、例えば、送信するデータが、 j の場合($j=0, 1, \dots, M-1$)、 $j+1$ 番目の要素 $b_n^{(k,j+1)}$ だけが1とさ

れることになり、他の要素は0とされることになる。但し、単位区間には、送信するデータに応じて、複数のパルスを配置することも可能である。

【0050】

式(2)における $a^{(m)}(t)$ は、位置 m に配置されるパルスの波形を表す。パルス $a^{(m)}(t)$ は、例えば、所定の単位エネルギーを有し、次式を満たすものである。

【0051】

【数3】

$$\int_{-\infty}^{\infty} a^{(m)}(t) a^{(m')}(t) dt = \delta_{m,m'}$$

... (3)

【0052】

ここで、式(3)において、 $\delta_{m,m'}$ は、クロネッカのデルタ(Kronecker Delta Function)である。

【0053】

具体的には、パルス $a^{(m)}(t)$ は、次式で表される。

【0054】

【数4】

$$a^{(m)}(t) = w_{\text{rec}}(t - mT_p)$$

... (4)

【0055】

式(4)から、パルス $a^{(m)}(t)$ は、単位区間において、時間 T_p の間隔で配置され得ることになる。従って、時間 T_p は、単位区間を区切る、隣接する位置の間隔(以下、適宜、チップ間隔という)を表す。

【0056】

パルス $a^{(m)}(t)$ を定義する信号 $w_{\text{rec}}(t)$ は、例えば、パルス幅が1 ns (nanosecond)程度以下の非常に短いパルス波形で、例えば、前述の文献7にあるように、次式で表されるものを採用することができる。

【0057】

【数 5】

$$w_{\text{rec}}(t) = \sqrt{\frac{8}{3}} \left[1 - 4\pi \left(\frac{t}{\tau_{\text{uwb}}} \right)^2 \right] \exp \left[-2\pi \left(\frac{t}{\tau_{\text{uwb}}} \right)^2 \right] \quad \dots (5)$$

【0058】

ここで、 τ_{uwb} は、パルス幅を決定するパラメータであり、また、式 (5) における時間 t は、 ns (nano seconds) オーダの値である。例えば、F. Ramirez-Mireles, M. Z. Win, R. A. Scholtz and M. A. Barnes, "Performance of ultra wideband time-shift-modulated signals in the indoor wireless impulse radio channel", Proc. Asilomar Conf. on Signal, Systems and Computers, pp. 192-196, Nov. 2-5, 1997 (以下、文献 14 という) や、F. Ramirez-Mireles and R. A. Scholtz, "Performance of Equicorrelated ultra-wideband pulse-position-modulated signals in the indoor wireless impulse radio channel", Proc. IEEE Pacific Pim Conf. on Communications, Computers and signal Processings, pp.640-644, Aug. 20-22, 1997 (以下、文献 15 という) に記載されているように、 τ_{uwb} を、 0.7531 ns とすると、パルス $w_{\text{rec}}(t)$ のパルス幅は、約 1.5 ns となる。

【0059】

なお、ここでのパルス幅とは、正確には、パルス $w_{\text{rec}}(t)$ が存在すると認められる継続時間(time duration)を意味する。

【0060】

また、式 (5) において、左辺の係数 $\sqrt{8/3}$ は、パルス $w_{\text{rec}}(t)$ のエネルギーを、式 $\int (w_{\text{rec}}(t))^2 dt = 1$ (積分区間は、 $-\infty$ から ∞) のように正規化するための係数である。

【0061】

ここで、パルス $w_{\text{rec}}(t)$ どうしの相関 (自己相関) $\rho(t)$ は、次式で表される。

【0062】

【数 6】

$$\rho(t) = \int_{-\infty}^{\infty} w_{\text{rec}}(t-u) w_{\text{rec}}(u) du.$$

. . . (6)

【0063】

なお、式(5)の自己相関 $\rho(t)$ は、例えば、前述の文献9において、次式に示すように近似されることが記載されている。

【0064】

【数 7】

$$\rho(t) = e^{-\alpha} \left[1 - 4\alpha + \frac{4}{3}\alpha^2 \right]$$

. . . (7)

【0065】

但し、式(7)において、 α は、 $\pi(t/\tau_{\text{uwb}})^2$ である。

【0066】

式(2)において、 $T_n^{(k)}$ は、ユーザ#kのn番目のシンボルをタイムホッピングするタイムホッピング時間を表す。即ち、ユーザ#kから、ユーザ#K+1へのシンボル送信に注目した場合、シンボルの送信タイミングは、疑似乱数を使用してタイムホッピング(time-hopping)されるようになっており、ユーザ#kのn番目のシンボルは、時刻 nT_S から、タイムホッピング時間 $T_n^{(k)}$ だけずれた時刻に送信される。このように、シンボルの送信タイミングがタイムホッピングされるのは、他のユーザ#k'から送信されるシンボルとの衝突が生じる可能性を低減するためである。

【0067】

ここで、タイムホッピング時間 $T_n^{(k)}$ は、例えば、2つの時間 $T^{(k)}$ と $T_n'^{(k)}$ からなり、式 $T_n^{(k)} = T^{(k)} + T_n'^{(k)}$ で表される。時間 $T^{(k)}$ は、ユーザ#kが送信するシンボルのシンボル遅延時間を表し、例えば、ユーザ#1のシンボル遅延時間 $T^{(1)}$ を基準($T^{(1)} = 0$)とした相対的な時間で、0以上 T_S 未満の値をとる。また、時間 $T_n'^{(k)}$ は、タイムホッピングを行うための疑似雑音で、0

以上 $T_{TH,max}$ 未満の値をとる。但し、 $T_{TH,max}$ は、 T_S 以下の値であり、また、差分 $T_S - T_{TH,max}$ の最小値は、後述する相関器 41_m、(図7)の S/H (Sample/Hold) 回路 55 におけるサンプルホールド時間、およびあるシンボルに配置されるパルスから、次のシンボルに配置されるパルスまでの間隔より小さい値である必要がある。

【0068】

なお、ここでは、説明を簡単にするために、時間 $T_{TH,max}$ は、時間 T_S に等しいとし、さらに、タイムホッピング時間の系列 $\{T_n^{(k)}\}$ は、定常独立で、0 以上 $T_{TH,max}$ 未満の範囲に均一に分布する連続な確率変数であるとする。但し、タイムホッピング時間の系列 $\{T_n^{(k)}\}$ は、連続な確率変数といっても、実際には、チップ間隔で離散化されて用いられる。

【0069】

式(2)から、ユーザ # k からは、図4に示すような送信信号 $s^{(k)}(t)$ が送信されてくる。

【0070】

即ち、図4(A)に示すように、ユーザ # k からは、シンボル # n が、直前のシンボル # n-1 から、時間 $T_S + T_n^{(k)}$ だけ経過したタイミングで送信される。

【0071】

さらに、図4(B)に示すように、シンボル # n においては、 T_p 間隔の M 個の位置のうち、送信するデータに対応する位置 m に、 $\sqrt{(E_S^{(k)})} w_{rec}(t)$ で表されるパルスが配置されている。

【0072】

図3の相関部 21 では、式(1)で示される受信信号 $r(t)$ と、複数のユーザ # 1 乃至 # K それぞれの送信信号として配置され得るパルスとの相関が演算される。

【0073】

即ち、複数のユーザ # 1 乃至 # K のうちの、あるユーザ # k' に注目すれば、そのユーザ # k' からの送信信号のうち、n' 番目のシンボルの m' 番目の位置

に配置されるパルス（以下、適宜、ローカルパルスという）は、 $a^{(m')}(t - n'T_s - T_n^{(k')})$ と表すことができるから、相関部21では、ユーザ# k' については、次式にしたがって、相関 $y_{n'}^{(k', m')}$ が計算される。

【0074】

【数8】

$$y_{n'}^{(k', m')} = \int_{-\infty}^{\infty} r(t) a^{(m')}(t - n'T_s - T_n^{(k')}) dt.$$

... (8)

【0075】

ここで、ユーザ# k' については、式(8)の相関 $y_{n'}^{(k', m')}$ が、すべての m' について計算されるが、いま、 $m' = 1, 2, \dots, M$ それぞれについて計算される相関 $y_{n'}^{(k', 1)}, y_{n'}^{(k', 2)}, \dots, y_{n'}^{(k', M)}$ を要素とする $M \times 1$ 次元のベクトル $y_{n'}^{(k')}$ を次式のように定義する。

【0076】

【数9】

$$y_{n'}^{(k')} = [y_{n'}^{(k', 1)}, \dots, y_{n'}^{(k', M)}]^T$$

... (9)

【0077】

なお、あるユーザと他のユーザとによるシンボル送信は、非同期で行われるため、相関部21が各ユーザについて、相関 $y_{n'}^{(1)}, y_{n'}^{(2)}, \dots, y_{n'}^{(K)}$ として出力する値は、時間位相関係で決定論的な値になるとは限らず、従って、確率的な値として扱う必要がある。そこで、相関部21の出力($y_{n'}^{(k', m')}$ や $y_{n'}^{(k')}$ 等)を、以下、適宜、相関統計量という。

【0078】

式(8)の相関統計量 $y_{n'}^{(k', m')}$ は、式(8)に、式(1)の受信信号 $r(t)$ を代入することにより、次式のようにして求められる。

【0079】

【数10】

$$y_n^{(k', m')} = \rho_{n'}^{n', k', m'} Ab + \eta_{n'}^{n', k', m'}$$

... (10)

【0080】

ここで、式(10)において、 $\rho_{n'}^{n', k', m'}$ は、ローカルパルス $a^{(m')}(t - n' T_S - T_{n'}^{(k')})$ と、ユーザ#1乃至#Kの送信信号 $s^{(1)}(t)$ 乃至 $s^{(K)}(t)$ それぞれとの相関を表す相関ベクトルで、次式に示すような $NKM \times 1$ 次元のベクトルとなる。

【0081】

【数11】

$$\rho_{n'}^{n', k', m'} = [\rho_{n,1}^{n', k', m'}, \dots, \rho_{n,N}^{n', k', m'}]^T$$

... (11)

【0082】

式(11)の相関ベクトル $\rho_{n'}^{n', k', m'}$ は、N個の要素ベクトルからなるが、その要素ベクトル $\rho_{n'}^{n', k', m'}$ は、ローカルパルス $a^{(m')}(t - n' T_S - T_{n'}^{(k')})$ と、ユーザ#1乃至#Kの送信信号 $s^{(1)}(t)$ 乃至 $s^{(K)}(t)$ におけるn番目のシンボルそれぞれとの相関を表す相関ベクトルで、次式に示すような $KM \times 1$ 次元のベクトルとなる。

【0083】

【数12】

$$\rho_{n'}^{n', k', m'} = [\rho_{n,1}^{n', k', m'}, \dots, \rho_{n,K}^{n', k', m'}]^T$$

... (12)

【0084】

式(12)の相関ベクトル $\rho_{n'}^{n', k', m'}$ は、K個の要素ベクトルからなるが、その要素ベクトル $\rho_{n,k}^{n', k', m'}$ は、ローカルパルス $a^{(m')}(t - n' T_S - T_{n'}^{(k')})$ と、ユーザ#kの送信信号 $s^{(k)}(t)$ におけるn番目のシンボ

ルとの相関を表す相関ベクトルで、次式に示すような $M \times 1$ 次元のベクトルとなる。

【0085】

【数13】

$$\rho_{n,k}^{n',k',m'} = [\rho_{n,k,1}^{n',k',m'}, \dots, \rho_{n,k,M}^{n',k',m'}]^T$$

... (13)

【0086】

式(13)の相関ベクトル $\rho_{n,k}^{n',k',m'}$ の要素 $\rho_{n,k,m}^{n',k',m'}$ は、ローカルパルス $a^{(m')}(t - n'T_S - T_n^{(k')})$ と、ユーザ# k の送信信号 $s^{(k)}(t)$ における n 番目のシンボルの m 番目の位置の信号(パルス)との相関を表し、式(14)によって計算することができる。なお、式(14)の相関 $\rho_{n,k,m}^{n',k',m'}$ は、上述の式(4)乃至(7)にしたがって計算することができる。

【0087】

【数14】

$$\rho_{n,k,m}^{n',k',m'} = \int_{-\infty}^{\infty} a^{(m)}(t - n'T_S - T_n^{(k)}) a^{(m')}(t - n'T_S - T_n^{(k')}) dt.$$

... (14)

【0088】

式(10)において、行列 A は、すべてのユーザのすべてのシンボルについての送信信号のエネルギーを表す $KMN \times KMN$ 次元の行列であり、次式のような対角行列となる。

【0089】

【数15】

$$A = \text{diag}(A_1^T, \dots, A_N^T)$$

... (15)

【0090】

ここで、式(15)の行列 A の要素 A_n は、 $KM \times 1$ 次元のベクトルであり、

$\text{diag}(A_n)$ とは、その対角成分が、ベクトル A_n で表される対角行列を表す。

【0091】

式(15)の行列 A の要素であるベクトル A_n は、式(16)に示すように表され、さらに、式(16)のベクトル A_n の要素 $A_n^{(k)}$ は、式(17)に示すように、同一の値 $E_S^{(k)}$ を要素とする $M \times 1$ 次元のベクトルを構成する。

【0092】

【数16】

$$A_n = [A_n^{(1)T}, \dots, A_n^{(K)T}]^T$$

... (16)

【数17】

$$A_n^{(k)} = [E_S^{(k)}, E_S^{(k)}, \dots, E_S^{(k)}]^T$$

... (17)

【0093】

式(10)において、ベクトル b は、各ユーザのシンボルにおいてパルスが配置され得る位置、つまり、シンボルとしてとり得る値を表す $NKM \times 1$ 次元のベクトルであり、次式のように表される。

【0094】

【数18】

$$b = [b_1^T, \dots, b_N^T]^T$$

... (18)

【0095】

ここで、式(18)のベクトル b の要素 b_n は、各ユーザが送信する n 番目のシンボルとしてとり得る値を表す $KM \times 1$ 次元のベクトルで、式(19)のように表される。

【0096】

【数19】

$$b_n = [b_n^{(1)T}, \dots, b_n^{(K)T}]^T \quad \dots (19)$$

【0097】

式(19)のベクトル b_n の要素 $b_n^{(k)}$ は、ユーザ k が送信する n 番目のシンボルとして取り得る値を表す $M \times 1$ 次元のベクトルで、式(20)のように表される。

【0098】

【数20】

$$b_n^{(k)} = [b_n^{(k,1)}, \dots, b_n^{(k,M)}]^T \quad \dots (20)$$

【0099】

式(10)における $\eta^{n'}, k', m'$ は、平均値が0で、分散が $N_0/2$ のガウス確率変数を表す。

【0100】

次に、相関部21から出力される式(9)の相関統計量 $y_n^{(k')}$ をすべてのユーザのすべてのシンボルについてまとめた相関統計量を、ベクトル y で表すと、式(10)は、この相関統計量 y を用いて、次式のように書き直すことができる。

【0101】

【数21】

$$y = RAb + \eta \quad \dots (21)$$

【0102】

ここで、式(21)におけるベクトル b は、式(18)乃至(20)で定義されるものである。

【0103】

また、式 (21) におけるベクトル y は、次式で表される、 N 個のベクトルを要素とする $KMN \times 1$ 次元のベクトルである。

【0104】

【数 2 2】

$$y = [y_1^T, \dots, y_N^T]^T$$

... (22)

【0105】

ここで、式 (22) のベクトル y の要素となっているベクトル y_n は、すべてのユーザについての n 番目のシンボルについての統計相関量を表し、次式で表される $KM \times 1$ 次元のベクトルである。

【0106】

【数 2 3】

$$y_n = [y_n^{(1)T}, \dots, y_n^{(K)T}]^T$$

... (23)

【0107】

なお、式 (23) におけるベクトル y_n の要素となっているベクトル $y_n^{(k)}$ は、式 (9) で定義されているものである。

【0108】

また、式 (21) における R は、 $NKM \times NKM$ 次元の相関行列であり、次式のように定義される。

【0109】

【数 2 4】

$$R = [\rho^1, \dots, \rho^N]^T$$

... (24)

【0110】

ここで、式 (24) において、相関行列 R の要素となっている ρ^n は、すべ

てのユーザの n' 番目のシンボルについての、ローカルパルスとの相関を表す $M \times N \times K$ 次元の行列で、次式のように表される。

【0111】

【数25】

$$\rho^{n'} = [\rho^{n',1^T}, \dots, \rho^{n',K^T}]^T$$

... (25)

【0112】

式 (25) において、行列 $\rho^{n'}$ の要素となっている $\rho^{n',k'}$ は、ユーザ # k' からの送信信号における n' 番目のシンボルについての、ローカルパルスとの相関を表す $M \times N \times K$ 次元の行列で、次式のように表される。

【0113】

【数26】

$$\rho^{n',k'^T} = [\rho^{n',k',1^T}, \dots, \rho^{n',k',M^T}]^T$$

... (26)

【0114】

なお、式 (26) における行列 $\rho^{n',k'}$ の要素となっている $\rho^{n',k',m'}$ は、式 (11) で定義されているものである。

【0115】

式 (21) における η は、式 (10) における $\eta^{n',k',m'}$ に対応し、次式のようなベクトル (ノイズベクトル) として定義される。

【0116】

【数27】

$$\eta = [\eta_1^T, \dots, \eta_N^T]^T$$

... (27)

【0117】

但し、式 (27) において、ベクトル $\eta_{n'}$ は、式 (28) のように定義され

、式(28)におけるベクトル $\eta_{n'}^{(k')}$ は、式(29)のように定義される。

【0118】

【数28】

$$\eta_{n'} = [\eta_{n'}^{(1)T}, \dots, \eta_{n'}^{(K)T}]^T$$

... (28)

【数29】

$$\eta_{n'}^{(k')} = [\eta_{n', k', 1}, \dots, \eta_{n', k', M}]^T$$

... (29)

【0119】

なお、式(10)における $\eta_{n'}^{n'}, k', m'$ が、式(29)におけるベクトル $\eta_{n'}^{(k')}$ の要素となっている。

【0120】

図3の相関部21は、式(21)の相関統計量 y を計算する(相関部21は、実際には、式(8)によって、相関統計量を計算するが、結果としては、式(21)を計算するのと同様の相関統計量が得られる)。このため、相関部21は、図5に示すように、マルチアクセスのユーザ数である K 個の相関バンク31₁乃至31_Kと、これらの相関バンク31₁乃至31_Kの後段に設けられたスイッチ32₁乃至32_Kから構成される。

【0121】

即ち、相関バンク31_{k'}には、受信信号 $r(t)$ が供給されるようになっており、相関バンク31_{k'}は、その受信信号 $r(t)$ と、ローカルパルス $a^{(m')}(t - n'T_S - T_{n'}^{(k')})$ を用い、式(8)にしたがって、式(9)で示される相関統計量 $y_{n'}^{(k')}$ を計算する。

【0122】

相関バンク31_{k'}が出力する相関統計量 $y_{n'}^{(k')}$ は、スイッチ32_{k'}に供給されるようになっており、スイッチ32_{k'}は、通常は、オフになっているが、 $t = (n' + 1)T_S$ のタイミングでオンする。従って、相関バンク31_{k'}が

出力する相関統計量 $y_{n'}^{(k')}$ は、 $t = (n' + 1) T_S$ のタイミングで、スイッチ 3 2 $_{k'}$ を介して、後段のシンボル検出器 2 2 (図 3) に供給される。

【 0 1 2 3 】

図 6 は、図 5 の相関バンク 3 1 $_{k'}$ の構成例を示している。

【 0 1 2 4 】

相関バンク 3 1 $_{k'}$ は、シンボルとしての単位区間において、パルスの配置が可能な M 個の位置と同一の数の相関器 4 1 $_1$ 乃至 4 1 $_M$ から構成されている。

【 0 1 2 5 】

相関器 4 1 $_m$ には、受信信号 $r(t)$ が供給されるようになっており、相関器 4 1 $_m$ は、その受信信号 $r(t)$ と、ローカルパルス $a^{(m')}(t - n' T_S - T_{n'}^{(k')})$ を用い、式 (8) にしたがって、その式 (8) で示される相関統計量 $y_{n'}^{(k', m')}$ を計算して出力する。

【 0 1 2 6 】

図 7 は、図 6 の相関器 4 1 $^{m'}$ の構成例を示している。

【 0 1 2 7 】

TH(Time-Hopping)時間生成器 5 1 は、タイムホッピング時間 $T_{n'}^{(k')}$ を生成し、パルス発生器 5 2 に供給する。パルス発生器 5 2 は、TH 時間生成器 5 1 からのタイムホッピング時間 $T_{n'}^{(k')}$ を用いて、ローカルパルス $a^{(m')}(t - n' T_S - T_{n'}^{(k')})$ を生成し、乗算器 5 3 に供給する。

【 0 1 2 8 】

乗算器 5 3 には、パルス発生器 5 2 からローカルパルス $a^{(m')}(t - n' T_S - T_{n'}^{(k')})$ が供給される他、受信信号 $r(t)$ も供給されるようになっている。乗算器 5 3 は、受信信号 $r(t)$ とローカルパルス $a^{(m')}(t - n' T_S - T_{n'}^{(k')})$ との積を演算し、これにより、式 (8) において時間積分の対象となっている $r(t) a^{(m')}(t - n' T_S - T_{n'}^{(k')})$ を求め、積分器 5 4 に供給する。

【 0 1 2 9 】

積分器 5 4 は、乗算器 5 3 の出力を、式 (8) にしたがって時間積分し、その積分値を、S/H 回路 5 5 に供給する。

【0 1 3 0】

S/H回路55は、タイムホッピング時間 $T_n^{(k')}$ に同期したタイミングで、積分器54の出力をサンプルホールドし、そのサンプルホールドした値を、式(8)における相関統計量 $y_n^{(k', m')}$ として出力する。

【0 1 3 1】

ここで、図3のUWB復調部13が、シングルユーザの復調器として構成される場合、相関部21は、図8に示すように、図6の相関バンク31 $_{k'}$ と同様に構成される1つの相関バンク61だけで構成される。

【0 1 3 2】

従って、この場合、相関部21の出力は、あるユーザ# k' についてだけの相関統計量 $y_n^{(k', m')}$ ($= [y_n^{(k', 1)}, y_n^{(k', 2)}, \dots, y_n^{(k', M)}]$)ということになり、後段のシンボル検出部22では、このユーザ# k' についてだけの相関統計量 $y_n^{(k', m')}$ に基づいて、シンボルの検出が行われることになる。

【0 1 3 3】

即ち、シンボル検出部22には、ユーザ# k' についてだけの相関統計量 $y_n^{(k', m')}$ しか供給されないため、シンボル検出にあたっては、他のユーザの相関統計量、つまり、他のユーザからの干渉を考慮することができない。このため、シンボル検出部22は、他のユーザからの干渉を考慮しない、次式のような判定規則にしたがって、ユーザ# k' が送信してきたシンボルの推定値 $b_n^{(k', m')}$ を出力することになる。

【0 1 3 4】

【数30】

$$b_n^{(k', m')} = \begin{cases} 1, & \text{if } y_n^{(k', m')} = \max(y_n^{(k')}) \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

... (30)

【0 1 3 5】

即ち、UWB復調部13がシングルユーザの復調器として構成される場合には、シンボル検出部22は、相関統計量 $y_n^{(k', 1)}, y_n^{(k', 2)}, \dots, y_n^{(k', M)}$

, (k', M) のうちの最大値 $y_n^{(k', m(\max))}$ を検出し、その最大値を与える $m(\max)$ を、復調データとして出力する。

【0136】

一方、UWB復調部13が、マルチユーザの最適復調器（最適検出器）として構成される場合には、シンボル検出部22は、例えば、図9に示すように構成される。

【0137】

即ち、この場合、シンボル検出部22は、相関行列演算器71、エネルギー推定器72、シンボルパターン発生器73、および最尤系列推定器74から構成される。

【0138】

相関行列演算器71は、式(14)にしたがい、ユーザからの送信信号として配置され得るパルスどうしの相関を演算し、その相関を要素とする、式(24)で定義される相関行列Rを求めて、最尤系列推定器74に出力する。なお、式(114)から、相関行列演算器71において相関行列Rを求めるためには、 T_p 、 T_s および $T_n^{(k)}$ の時間情報、並びに単位区間の区分数であるMが必要であるが、これらの情報（以下、適宜、相関行列演算用情報という）は、相関行列演算器71で認識されているものとする。

【0139】

エネルギー推定器72は、各ユーザ#kの送信信号のエネルギー $E_S^{(k)}$ を推定し、そのエネルギー $E_S^{(k)}$ を要素とする、式(15)で定義される行列（以下、適宜、エネルギー行列という）Aを求めて、最尤系列推定器74に出力する。なお、本実施の形態では、上述したように、すべてのユーザの送信信号のエネルギー $E_S^{(1)}$, $E_S^{(2)}$, ..., $E_S^{(K)}$ は、同一の値 E_S とされているものとする。

【0140】

シンボルパターン発生器73は、各ユーザのシンボルにおいてパルスが配置され得る位置、つまり、シンボルとしてとり得る値のパターンを表す、式(18)で定義されるベクトル（以下、適宜、パターンベクトルという）bを求め、最尤系列推定器74に出力する。

【0141】

最尤系列推定器 2 2 には、上述したように、相関行列演算器 7 1 が出力する相関行列 R、エネルギー推定器 7 2 が出力するエネルギー行列 A、およびシンボルパターン発生器 7 3 が出力するパターンベクトル b が供給される他、相関部 2 1 が出力する相関統計量（ベクトル） y も供給されるようになっており、最尤系列推定器 2 2 は、これらの情報を用いて、最尤系列推定を行い、ユーザ # 1 乃至 # K それぞれからのシンボル系列の推定値（ベクトル） $b^{(1)}$, $b^{(2)}$, \dots , $b^{(K)}$ を求め、復調データとして出力する。

【0142】

即ち、最尤系列推定器 2 2 は、相関統計量 y 、相関行列 R、エネルギー行列 A、およびパターンベクトル b を用い、次式の判定規則にしたがって、ユーザ # 1 乃至 # K それぞれからのシンボル系列の最も確からしい推定値（ベクトル） $b' = [b^{(1)}, b^{(2)}, \dots, b^{(K)}]$ を求める。

【0143】

【数 3 1】

$$b' = \arg \min_b \|y - RAb\|^2$$

$\dots (31)$

【0144】

ここで、式 (31) における b についての $\arg \min(x)$ とは、 x を最小にする b を求めることを意味する。

【0145】

従って、式 (31) によれば、 M^{KN} 通りのパターンベクトル b の中から、ノルム $\|y - RAB\|^2$ を最小にするものが、最も確からしいシンボル系列の推定値 b' として求められることになる。

【0146】

UWB復調部 1 3 が、図 9 に示したように、マルチユーザの最適復調器として構成される場合においては、UWB復調部 1 3 では、図 10 のフローチャートにしたがった処理が行われる。

【0147】

即ち、まず最初に、ステップS1において、相関行列演算器71は、相関行列Rを求め、エネルギー推定器72は、エネルギー行列Aを求め、シンボルパターン発生器73は、パターンベクトルbを求め、最尤系列推定器74に出力する。

【0148】

そして、ステップS2に進み、相関部21は、受信信号 $r(t)$ とローカルパルスとの相関を求め、その結果得られる相関統計量 y を、最尤系列推定器74に出力する。

【0149】

最終系列推定器74は、相関統計量 y 、相関行列R、エネルギー行列A、およびパターンベクトルbを用い、式(31)の判定規則にしたがって、ユーザ#1乃至#Kそれぞれからのシンボル系列の最も確からしい推定値 $b' = [b'^{(1)}, b'^{(2)}, \dots, b'^{(K)}]$ を求め、復調データとして出力する。

【0150】

その後は、ステップS2に戻り、次の受信信号 $r(t)$ について、以下、同様の処理が繰り返される。

【0151】

次に、UWB復調部13は、上述のように、マルチユーザの最適復調器（最適検出器）として構成することができる他、マルチユーザの準最適復調器（準最適検出器）としても構成することができる。

【0152】

即ち、UWB復調部13では、各ユーザの相関統計量 $y_n^{(1)}, y_n^{(2)}, \dots, y_n^{(K)}$ すべてを用いることにより、ユーザどうしの干渉を利用して、すべてのユーザからの信号を統合的に復調(joint detection)し、各ユーザからのシンボル（系列）の最適推定を行う他、各ユーザの相関統計量 $y_n^{(1)}, y_n^{(2)}, \dots, y_n^{(K)}$ すべてを用いることにより、その各ユーザの相関統計量 $y_n^{(1)}, y_n^{(2)}, \dots, y_n^{(K)}$ から、ユーザどうしの干渉成分（他局間干渉）を除去して、各ユーザからのシンボル（系列）の準最適推定を行うこともできる。

【0153】

UWB復調部13を、マルチユーザの準最適復調器として構成する方法としては、例えば、デコリレータ(decorrelator)を用いる方法がある。

【0154】

デコリレータは、シングルユーザ用のシステムにおいて、ゼロフォーシング(zero-forcing)法により符号間干渉を処理する線形検出器に類似するものであり、相関統計量 y を、次式にしたがって一次変換することにより、他局間干渉(MAI)のない信号空間に投影し、その信号空間上の相関統計量 y' を求める。

【0155】

【数32】

$$y' = R^{-1}y$$

... (32)

【0156】

以上のようにして、他局間干渉のない信号空間上の相関統計量 y' が求められた後は、式(30)に示した判定規則にしたがって、ユーザ#1乃至#Kそれぞれからのシンボル系列の準最適な推定値 $b'_{n, (1,m)}$, $b'_{n, (2,m)}$, ..., $b'_{n, (K,m)}$ を求めることができる。

【0157】

図11は、デコリレータを用い、マルチユーザの準最適復調器として、UWB復調部13を構成した場合のシンボル検出部22の構成例を示している。

【0158】

相関行列演算器81は、図9の相関行列演算器71と同様に、相関行列 R を演算し、逆行列演算器82に供給する。逆行列演算器82は、相関行列演算器81から供給される相関行列 R の逆行列(以下、適宜、逆相関行列という) R^{-1} を演算し、逆相関演算器83に供給する。

【0159】

なお、雑音や演算誤差等、あるいは相関行列 R が正則でないことによって、相関行列 R の行列式が0若しくは非常に小さい値になる場合があり得るが、その場合には、逆行列演算器82は、自乗ノルム最大となる一般化逆行列によって、逆

相関行列 R^{-1} を代用する等の例外処理を行う。

【0160】

逆相関演算器 8 3 には、逆行列演算器 8 3 から逆相関行列 R^{-1} が供給される他、相関部 2 1 が出力する相関統計量 y が供給されるようになっており、逆相関演算部 8 3 は、式 (3 2) にしたがって、相関総計量 y を、逆相関行列 R^{-1} によって一次変換することにより、相関総計量 y を、他局間干渉のない信号空間に写像した相関統計量 y' を求めて、最大値検出器 8 4 に出力する。

【0161】

最大値検出器 8 4 は、式 (3 0) の判定規則にしたがい、逆相関演算器 8 3 からの相関統計量 y' のユーザ # k' についての相関統計量 $y'_{n'}(k', 1)$, $y'_{n'}(k', 2)$, \dots , $y'_{n'}(k', M)$ のうちの最大値 $y'_{n'}(k', m(\max))$ を求め、その最大値 $y'_{n'}(k', m(\max))$ を与える $m(\max)$ を求める。さらに、最大値検出器 8 4 は、その $m(\max)$ に基づき、ユーザ # k' からのシンボル系列の準最適推定値 $b'_{n'}(k')$ を求めて、復調データとして出力する。また、最大値検出器 8 4 は、他のユーザについても、同様にして、復調データを求めて出力する。

【0162】

なお、図 1 1 においては、相関行列演算器 8 1、逆行列演算器 8 2、および逆相関演算器 8 3 が、デコリレータを構成している。

【0163】

UWB 復調部 1 3 が、図 1 1 に示したように、デコリレータを用いた、マルチユーザの準最適復調器として構成される場合においては、UWB 復調部 1 3 では、図 1 2 のフローチャートにしたがった処理が行われる。

【0164】

即ち、まず最初に、ステップ S 1 1 において、相関行列演算器 8 1 は、相関行列 R を求め、逆行列演算器 8 2 に出力して、ステップ S 1 2 に進む。ステップ S 1 2 では、逆行列演算器 8 2 が、相関行列 R の逆行列を求め、逆相関行列 R^{-1} として、逆相関演算器 8 3 に出力する。

【0165】

その後、相関部 21 において、受信信号 $r(t)$ とローカルパルスとの相関が求められ、その結果得られる相関統計量 y が、逆相関演算器 83 に供給されると、逆相関演算器 83 は、ステップ S13 において、式 (32) にしたがって、相関総計量 y を他局間干渉のない信号空間に写像した相関統計量 y' を求めて、最大値検出器 84 に出力する。

【0166】

最大値検出器 84 は、ステップ S14 において、式 (30) の判定規則にしたがい、逆相関演算器 83 からの相関統計量 y' の、各ユーザごとの最大値を求め、その最大値に基づき、各ユーザからのシンボル系列の準最適な推定値 b' を求めて、復調データとして出力する。

【0167】

その後は、ステップ S13 に戻り、相関部 21 から、次の受信信号 $r(t)$ について相関統計量 y が供給されるのを待って、以下、同様の処理が繰り返される。

【0168】

なお、UWB復調部 13 を最適復調器として構成する場合には、図 9 および図 10 で説明したように、相関行列 R を計算するために、相関行列演算用情報が必要となるとともに、エネルギー行列 A を計算するために、各ユーザの送信信号のエネルギーの推定が必要となるが、UWB復調部 13 を、図 11 に示したように、デコリレータを用いた準最適復調器として構成する場合には、相関行列 R の計算は必要であるが、エネルギー行列 A の計算は必要ないため、各ユーザの送信信号のエネルギーを推定する必要はない。

【0169】

また、UWB復調部 13 をデコリレータを用いて構成する場合、デコリレータにおいて、相関統計量 y が、他局間干渉のない信号空間に写像されることから、その干渉成分を除去することができるが、その代償として、多少、ノイズ成分が増加する。

【0170】

次に、UWB復調部 13 を、マルチユーザの準最適復調器（準最適検出器）とし

て構成する場合には、デコリレータを用いる他、線形MMSE(Minimum Mean-Square-Error)検出器を用いて構成することもできる。

【0171】

線形MMSE検出器は、相関統計量 y を、その平均自乗誤差が最小になるように変換するもので、ゼロフォーシング法による符号間干渉の低減と、白色ガウス雑音の低減とをバランスさせたものであり、例えば、シングルユーザ用の線形MMSE検出器と類似の構成のものを使用することができる。

【0172】

線形MMSE検出器で相関統計量 y を変換した後は、その変換後の相関統計量 y' を用い、式(30)に示した判定規則にしたがって、ユーザ#1乃至#Kそれぞれのシンボル系列の準最適な推定値 $b'_{n'}(1,m)$, $b'_{n'}(2,m)$, ..., $b'_{n'}(K,m)$ を求めることができる。

【0173】

図13は、線形MMSE検出器を用い、マルチユーザの準最適復調器として、UWB復調部13を構成した場合のシンボル検出部22の構成例を示している。

【0174】

相関行列演算器91は、図9の相関行列演算器71と同様に、相関行列 R を演算し、平均自乗誤差演算器93に供給する。エネルギー推定器92は、図9のエネルギー推定器72と同様に、エネルギー行列 A を求め、平均自乗誤差演算器93に供給する。

【0175】

平均自乗誤差演算器93には、相関行列演算器91から相関行列 R が供給されるとともに、エネルギー推定器92からエネルギー行列 A が供給される他、相関部21が出力する相関統計量 y が供給されるようになっており、平均自乗誤差演算器93は、次式にしたがい、相関行列 R とエネルギー行列 A から得られる変換行列によって、相関部21からの相関統計量 y を、その平均自乗誤差を最小したものの y' に変換し、最大値検出器94に供給する。

【0176】

【数 3 3】

$$y' = \left[R + \frac{N_0}{2} (AA)^{-1} \right]^{-1} y$$

... (33)

【0177】

最大値検出器94は、図11の最大値検出器84と同様に、式(30)の判定規則にしたがい、平均自乗誤差演算器93からの相関統計量 y' のユーザ# k' についての相関統計量 $y'_{n, (k', 1)}$, $y'_{n, (k', 2)}$, ..., $y'_{n, (k', M)}$ のうちの最大値 $y'_{n, (k', m(\max))}$ を求める。さらに、最大値検出器94は、その最大値 $y'_{n, (k', m(\max))}$ を与える $m(\max)$ に基づき、ユーザ# k' からのシンボル系列の準最適な推定値 $b'_{n, (k')}$ を求めて、復調データとして出力する。また、最大値検出器84は、他のユーザについても、同様にして、復調データを求めて出力する。

【0178】

なお、図13において、相関行列演算器91、エネルギー推定器92、および平均自乗誤差演算器93が、線形MMSE検出器を構成している。

【0179】

UWB復調部13が、図13に示したように、線形MMSE検出器を用いた、マルチユーザの準最適復調器として構成される場合においては、UWB復調部13では、図14のフローチャートにしたがった処理が行われる。

【0180】

即ち、まず最初に、ステップS21において、相関行列演算器91が、相関行列 R を求め、エネルギー推定器92が、エネルギー行列 A を求め、平均自乗誤差演算器93に出力する。

【0181】

その後、相関部21において、受信信号 $r(t)$ とローカルパルスとの相関が求められ、その結果得られる相関統計量 y が、平均自乗誤差演算器93に供給されると、平均自乗誤差演算器93は、ステップS22において、式(33)にしたがい、相関総計量 y を変換し、相関統計量 y' を求めて、最大値検出器94に

出力する。

【0182】

最大値検出器94は、ステップS14において、式(30)の判定規則にしたがい、平均自乗誤差演算器93からの相関統計量 y' の、各ユーザごとの最大値を求め、その最大値に基づき、各ユーザからのシンボル系列の準最適な推定値 b' を求めて、復調データとして出力する。

【0183】

その後は、ステップS22に戻り、相関部21から、次の受信信号 $r(t)$ について相関統計量 y が供給されるのを待って、以下、同様の処理が繰り返される。

【0184】

次に、例えば、前述の文献10乃至12や、P. Patel and J. M. Holtzman, "Analysis of a simple successive interference cancellation scheme in a DS/CDMA system", IEEE J. Select Areas Communications, Vol.12, pp.796-807, June 1994 (以下、文献16という)等には、並列干渉キャンセラや、逐次干渉キャンセラ、判定帰還型干渉キャンセラ等の、他局間干渉の生成と、その他局間干渉の、受信信号からの除去によるシンボル判定の高信頼化に関する原理を背景として、相関行列を用いて干渉除去を行う各種の干渉キャンセラが記載されているが、UWB復調部13を、マルチユーザの準最適復調器(準最適検出器)として構成する場合には、これらの干渉キャンセラや、これらの干渉キャンセラを組み合わせたものを用いることができる。

【0185】

即ち、干渉キャンセラを用いて、マルチユーザの準最適復調器としてのUWB復調部13を構成する場合には、図3に点線で示すように、相関部21とシンボル検出部22との間に、干渉キャンセラ23を設けて、UWB復調部31を構成すればよい。

【0186】

なお、この場合、干渉キャンセラ23は、相関部21が出力する各ユーザの相関統計量 $y_n^{(1)}$, $y_n^{(2)}$, ..., $y_n^{(K)}$ すべてを用いることにより、そ

の各ユーザの相関統計量 $y_n^{(1)}$, $y_n^{(2)}$, \dots , $y_n^{(K)}$ から、ユーザどうしの干渉成分（他局間干渉）を除去して、シンボル検出部 22 に出力し、シンボル検出部 22 は、式（30）の判定規則にしたがって、各ユーザからの準最適なシンボル（系列）を推定する。

【0187】

以上のように、UWB復調部 13 において、複数ユーザからの UWB 通信による送信信号に対応する受信信号 $r(t)$ と、その複数のユーザそれぞれの送信信号として配置され得るパルス（ローカルパルス）との相関を演算し、相関統計量 y を求め、その相関統計量 y に基づき、複数のユーザからの送信信号どうしの干渉を考慮して、複数のユーザそれぞれが送信してきたデータを復調するようにしたので、UWB 通信によるマルチアクセスを高いパフォーマンスで可能にする復調器を提供することが可能となる。

【0188】

なお、例えば、DS-CDMA (Direct Sequence CDMA) 通信では、処理利得が、チップ速度／データ速度で定義されるが、この処理利得が制限されることにより、ユーザどうしの送信信号の相互相関は、一般には 0 にならない。即ち、CDMA 通信では、送信側において、データに対して、1 周期分の拡散符号を乗じて、データの周波数帯域を、広帯域にスペクトル拡散し、受信側において、受信信号に対して、送信側と同一の拡散符号を乗じ、拡散符号の 1 周期分に亘って積分を行うことにより、受信信号との相関を計算するため、異なるユーザに割り当てられた拡散符号どうしの相互相関が、長時間にわたって残ることになる。

【0189】

これに対して、UWB 通信では、処理利得が、バンド幅／PRF で定義され、前述したように、バンド幅は、非常に広帯域であることから、処理利得が大きく、その結果、ユーザどうしの送信信号の相互相関は、0 になる可能性が高い。即ち、UWB 通信では、拡散符号を用いず、周波数帯域が非常に広帯域になる微小幅のパルスで、データの送信が行われるため、時間領域での相関特性は局所化される。従って、UWB 通信における相関行列 R は、いわゆる希薄な行列 (sparse matrix)（要素のほとんどが 0 の行列）となる。ここで、相関行列 R において、その要素

としての相互相関が0になっていないものは、パルスの衝突、つまり、MAIが生じていることを表すが、0でない相互相関は、単位区間の区分数であるMの増加、処理利得の減少、マルチアクセスするユーザ数（ユーザ容量）Kの増加によって増加する。

【0190】

ところで、相関行列Rの次元数は、ユーザ数K、および推定するシンボル系列のシンボル数Nに比例して増加し、この相関行列Rの次元数の増加は、UWB復調部13における計算量を膨大なものにする。

【0191】

しかしながら、相関行列Rが希薄な行列である場合には、その相関行列Rを、次元の低い幾つかの行列に分けて処理することが可能であり、UWB復調部13における計算量を削減することができる。即ち、例えば、図3に示したように、干渉キャンセラ23を設けてUWB復調部13を構成する場合には、干渉キャンセラ23では、タイムホッピング時間 $T_n^{(k)}$ 等に基づいて、他局間干渉を生じうるユーザどうしについてだけ処理を行えば良く、処理負担を軽減することができる。

【0192】

また、条件 $KMT_p < T_S$ が満たされる場合、シンボル系列を構成するシンボル#1, #2, ..., #Nにおいては、シンボルに対応するパルスどうしの裾野部分が重なり合うことがなくなる。従って、この場合は、パルスどうしの裾野の重なり合いにより生じる問題を考える必要がなくなり、UWB復調部13では、シンボル系列検出ではなく、シンボル検出を行えば良いことになる。即ち、条件 $KMT_p < T_S$ が満たされるようなシンボル周期の下では、すべてのユーザのシンボル（としてのパルス）は、近隣のシンボルの影響を受けず、従って、相関部21が出力する各ユーザについての相関統計量は、互いに独立となる。

【0193】

上述したように、UWB通信においては、相関行列Rが希薄な行列になることから、ユーザどうしの送信信号の相互相関が一般には0にならないCDMA通信の場合に比較して、処理負担が飛躍的に軽くなる。

【0194】

そこで、次に、UWB通信のマルチアクセスにおいて、希薄な行列となる相関行列 R が得られることにより、UWB復調部 13 における処理負担が、どのように軽減されるかを説明する。

【0195】

まず、相関行列 R は、対称行列となる。従って、その要素となる式 (13) の相関 $\rho_{n,k,m}^{n',k',m'}$ は、式 $\rho_{n,k,m}^{n',k',m'} = \rho_{n',k',m'}^{n,k,m}$ を満たす。

【0196】

次に、式 (34) に示すように、相関行列 R が、 $N \times N$ 個の行列 $r_n^{n'}$ で構成されると考える。

【0197】

【数34】

$$R = \begin{bmatrix} r_1^1 & \cdots & r_N^1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_1^N & \cdots & r_N^N \end{bmatrix}$$

... (34)

【0198】

式 (34) における行列 $r_n^{n'}$ は、受信信号 $r(t)$ の n 番目のシンボルに配置されるパルス $a^{(m)}(t - nT_S - T_n^{(k)})$ と、 n' 番目のローカルパルス $a^{(m')}(t - n'T_S - T_{n'}^{(k')})$ との相関を要素とする $KM \times KM$ 次元の行列で、次式に示すように、 $K \times K$ 個の行列 $r_{n,k}^{n',k'}$ で表すことができる。

【0199】

【数35】

$$r_n^{n'} = \begin{bmatrix} r_{n,1}^{n',1} & \cdots & r_{n,K}^{n',1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n,1}^{n',K} & \cdots & r_{n,K}^{n',K} \end{bmatrix}$$

... (35)

【0200】

式 (35) における行列 $r_{n,k}^{n',k'}$ は、受信信号 $r(t)$ におけるユーザ #

k の n 番目のシンボルに配置されるパルス $a^{(m)}(t - nT_S - T_n^{(k)})$ と、ユーザ # k' についての n' 番目のローカルパルス $a^{(m')}(t - n'T_S - T_{n'}^{(k')})$ との相関を要素とする $M \times M$ 次元の行列で、次式に示すように、 $M \times M$ 個の行列 $r_{n,k,m}^{n',k',m'}$ で表すことができる。

【0201】

【数36】

$$r_{n,k}^{n',k'} = \begin{bmatrix} r_{n,k,1}^{n',k',1} & \dots & r_{n,k,M}^{n',k',1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n,k,1}^{n',k',M} & \dots & r_{n,k,M}^{n',k',M} \end{bmatrix} \quad \dots (36)$$

【0202】

式(35)で表される行列 $r_{n,k}^{n',k'}$ のうち、式 $|n' - n| > 1$ を満たす n と n' に関するものは、ゼロ行列になる。従って、式(34)の相関行列 R は、次式のような、 $N \times N$ 個の行列を要素とする行列として表すことができる。

【0203】

【数37】

$$R = \begin{bmatrix} r_1^1 & r_1^2 & 0_{KM} & 0_{KM} & 0_{KM} & \dots & 0_{KM} \\ r_2^1 & r_2^2 & r_2^3 & 0_{KM} & 0_{KM} & \dots & 0_{KM} \\ 0_{KM} & r_3^2 & r_3^3 & r_3^4 & 0_{KM} & \dots & 0_{KM} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0_{KM} & \dots & \dots & \dots & 0_{KM} & r_{N-1}^N & r_N^N \end{bmatrix} \quad \dots (37)$$

【0204】

ここで、行列 0_x は、 $x \times x$ 次元のゼロ行列を意味する。

【0205】

式(37)から、相関行列 R は、例えば、G. H. Golub and C. F. Van Loan, Matrix Computations, 3rd ed., The Johns Hopkins University Press, 1996, pp.16-17 (以下、文献17という)に記載されている三角対称行列に類似したものとなる。

【0206】

ここで、三角対称行列とは、対角要素と、その両隣の要素以外の要素が0となっている行列をいうが、相関行列Rは、式(35)に示した行列 $r_{n, n'}$ を要素とみなした場合に、三角対称行列となる。従って、相関行列Rを、スカラー値が要素となるようにみた場合に、相関行列Rが、三角対称行列になるのではない。即ち、相関行列Rは、厳密な意味では、三角対称行列ではない。

【0207】

ところで、 $k = k'$ の場合は、同一ユーザの場合であり、同一ユーザの近隣のシンボルどうしの相関はないから、式(36)の行列 $r_{n, k}^{n', k'}$ ($= r_{n, k}^{n', k}$) は、ゼロ行列 0_M となる。さらに、 $k = k'$ で、かつ $n = n'$ の場合は、同一ユーザの、同一番目のシンボルの場合であり、同一ユーザの、同一番目のシンボルに配置され得る、異なる位置のパルスどうしは直交するから、式(14)の相関 $\rho_{n, k, m}^{n', k', m'}$ ($= \rho_{n, k, m}^{n, k, m}$) は、次式のように計算されることになる。

【0208】

【数38】

$$\rho_{n, k, m}^{n, k, m} = \begin{cases} 1 & \text{if } m' = m, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

... (38)

【0209】

従って、式(36)の行列 $r_{n, k}^{n', k'}$ は、 $k = k'$ かつ $n = n'$ の場合、 $M \times M$ 次元の単位行列 I_M となる。ここで、行列 I_x は、 $x \times x$ 次元の単位行列を意味する。

【0210】

例えば、いま、ユーザ数Kが3人で、2値のパルス位置変調(従って、 $M = 2$)が行われることによる受信信号からのシンボル検出(従って、 $N = 1$)を行う場合を考える。

【0211】

なお、式(4)におけるチップ間隔 T_p は、1.5 nsと、式(5)における

パラメータ τ_{uwb} は、0.7531と、式(2)におけるシンボル送信間隔 T_S は、 $10T_p$ より大であると、それぞれする。また、式(2)のタイムホッピング時間 $T_n^{(k)}$ については、 $T_1^{(1)}=0$ 、 $T_1^{(2)}=T_p$ 、 $T_1^{(3)}=5T_p$ であるとし、さらに、3人のユーザ#1乃至#3による送信信号のエネルギーは、同一であるとする。

【0212】

以上の条件の下において、相関行列 R を求めると、次式のような、 $6(=1 \times 3 \times 2) \times 6$ 次元の行列になる。

【0213】

【数39】

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

... (39)

【0214】

そして、いま、式(31)による最尤推定により、ユーザ#1乃至#3が送信してきたシンボルの推定を行うものとする、式(31)で与えられるシンボルの推定値(ベクトル) b' は、次のような 6×1 次元のベクトルとなる。

【0215】

【数40】

$$b' = [b_1^{(1)T}, b_1^{(2)T}, b_1^{(3)T}]^T$$

... (40)

【0216】

ここで、式(40)において、ベクトル b' の要素となっている $b_n^{(k)}$ は、 $2(=M) \times 1$ 次元のベクトルである。

【0217】

相関行列 R が、式 (39) で与えられる場合、3人のユーザ #1 乃至 #3 のシンボル検出の問題は、次のような2つのシンボル検出の問題に縮小することができる。

【0218】

即ち、式 (39) の相関行列 R は、式 (41) に示すような、左上の 4×4 次元の行列、左下の 2×4 次元の行列、右上の 4×2 次元の行列、右下の 2×2 次元の行列に分けて考えることができ、このことは、3人のユーザ #1 乃至 #3 のうち、ユーザ #1 と #2 との間で、他局間干渉が生じているが、ユーザ #3 については、他局間干渉が生じていないことを表している。

【0219】

【数41】

$$R = \begin{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{Bmatrix} \\ \begin{Bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{Bmatrix} \end{bmatrix}$$

... (41)

【0220】

従って、いま、式 (41) の右辺における左上の 4×4 次元の行列を、行列 R と表すとともに、 $x \times y$ 次元のゼロ行列を、 $0_{x,y}$ と表すこととすると、式 (41) の相関行列 R は、次式のように表すことができる。

【0221】

【数42】

$$R = \begin{bmatrix} R & 0_{4,2} \\ 0_{2,4} & I_2 \end{bmatrix}$$

... (42)

【0222】

式 (42) から、式 (31) によるシンボル検出は、他局間干渉を生じているユーザ #1 と #2 についてのシンボル検出と、他のユーザとの他局間干渉を生じ

ていないユーザ#3についてのシンボル検出の問題に、いわば分割される。

【0223】

その結果、ユーザ#1と#2のシンボル推定値 $[b_1^{(1)}, b_1^{(2)}]$ は、式(31)に対応する式(43)によって、また、ユーザ#3のシンボル推定値 $b_1^{(3)}$ は、式(31)に対応する式(44)によって、それぞれ求めることができる。

【0224】

【数43】

$$[b_1^{(1)}, b_1^{(2)}]^T = \arg \min_{[b_1^{(1)}, b_1^{(2)}]^T} \left\| [y_1^{(1)}, y_1^{(2)}]^T - R' [b_1^{(1)}, b_1^{(2)}]^T \right\|^2 \quad \dots (43)$$

【数44】

$$b_1^{(3)} = \arg \min_{b_1^{(3)}} \|y_1^{(3)} - I_2 b_1^{(3)}\|^2 \quad \dots (44)$$

【0225】

UWB通信では、例えば、式(39)に示したように、相関行列Rが希薄な行列となることから、相関行列Rを、例えば、式(42)に示したように、いわば分解(縮小)して扱うことができ、その結果、相関行列Rを分解しない(できない)場合に比較して、計算コストを激減することができる。

【0226】

なお、ユーザ#1乃至#Kすべての、N個のシンボルすべてにおいて、M個の位置に配置され得るパルスどうしが直交している場合、つまり、パルスどうしが重なり合うことがない場合、相関行列Rは、 $NKM \times NKM$ 次元の単位行列 I_{NKM} となる。このように相関行列Rが単位行列になる場合、マルチユーザのUWB復調部13における処理は、K個のシングルユーザの復調器における処理と等価なものとなる。

【0227】

次に、図15および図16は、UWB復調部13を、マルチユーザの最適復調器（最適検出器）として構成した場合の、SER (Symbol Error Rate)と E_b/N_0 (E_b は、ビットエネルギー)との関係を測定したシミュレーション結果を示している。

【0228】

図15および図16のシミュレーション結果は、 $M=2$ 、 $T_p=1.5\text{ ns}$ 、 $\tau_{\text{uwb}}=0.7531$ とするとともに、各ユーザからの信号のエネルギーを同一値 E_S であるとして、モンテカルロ(Monte-Carlo)法によるシミュレーションを行うことにより得られたものである。

【0229】

図15では、ユーザ数 K を2とし、タイムホッピング時間 $T_1^{(1)}$ と $T_1^{(2)}$ を、それぞれ0と T_p としてある。また、図15では、式 $T_S > KMT_p (=4T_p)$ を満足するように、シンボル送信周期 T_S を設定し、これにより、 $N=1$ となるように、つまり、シンボル検出が行われるようにしてある。なお、ビットエネルギー E_b は、式 $E_b = E_S / \log_2 M$ で計算される。

【0230】

図15において（図16においても同様）、「ML」で示す曲線が、マルチユーザの最適復調器によるSERを示しており、「Conv」で示す曲線が、シングルユーザの復調器によるSERを示している。図15から明らかなように、シングルユーザの復調器では、 E_b/N_0 が大きくなっても、それほど、SERは改善せず、他局間干渉に起因するエラーフロアが生じる。即ち、シングルユーザの復調器では、他局間干渉が考慮されないため、例えば、ノイズがない理想的な環境下であっても、ユーザ#1がデータ d を送信するのに1番目のシンボルに配置されるパルスと、ユーザ#2が同一のデータ d を送信するのに1番目のシンボルに配置されるパルスとは、ユーザ#1の復調器において、いずれも、ユーザ#1が送信した1番目のシンボルに配置されたパルスとして検出される。つまり、いまの場合、 $M=2$ であるから、シンボルとしての単位区間は、2つの位置に区切られており、その2つの位置のいずれか一方だけに、パルスが配置されるが、ユーザ#1と#2のタイムホッピング時間が、それぞれ0と T_p であり、その差がチ

ップ間隔 T_p に等しいことから、ユーザ # 1 の復調器では、1 番目のシンボルの 2 つの位置の両方に、パルスが配置されているというシンボル検出結果が得られる。実際に、シミュレーションを行うと、2 つの位置に対する相関統計量として、同一の値が得られる。ユーザ # 2 の復調器でも、ユーザ # 1 と # 2 がそれぞれ送信する 2 番目のシンボルについて、同様の検出結果が得られる。

【0231】

これに対して、マルチユーザの最適復調器では、他局間干渉が考慮されているため、 E_b/N_0 が大きくなるにつれて、SER も改善されていく。

【0232】

なお、図 15 において、「Single-user」で示す曲線は、他局間干渉がない場合のシングルユーザの復調器による SER の上界を示しているが、マルチユーザの最適復調器による SER としては、このシングルユーザの復調器による SER の上界とほぼ同様の値が得られている。

【0233】

また、この「Single-user」で示す曲線は（図 16 においても同様）、J. G. Proakis, Digital Communications, McGraw-Hill, 4th. ed., 2001, p.261（以下、文献 18 という）に記載された理論式により求めたものであるが、 $E_b/N_0 > 4 \log 2 \sim 4.4 \text{ dB}$ の範囲においては、実際の SER の上界に近いものである。

【0234】

さらに、マルチユーザの復調器のパフォーマンスは、ユーザ間のタイムホッピング時間 $t_n^{(k)}$ の関係によって変化する。タイムホッピングは、上述したように、ユーザどうしのパルスの衝突を避けるために行われるものであるが、仮に、ユーザどうしのパルスの衝突が、まったくなければ、マルチユーザの復調器のパフォーマンスは、他局間干渉がない場合のシングルユーザの復調器のパフォーマンスと同様になる。即ち、図 15 における「ML」で示すマルチユーザの最適復調器の SER は、「Single-user」で示すシングルユーザの復調器の SER の上界に一致する。

【0235】

一方、ユーザどうしのパルスが完全に衝突する場合、即ち、例えば、タイムホッピング時間 $T_1^{(1)}$ と $T_1^{(2)}$ が、いずれも 0 であり、ユーザ # 1 のパルスの位置と、ユーザ # 2 のパルスの位置とが一致してしまう場合、図 1 5 における「ML」で示すマルチユーザの最適復調器の S E R は、「Conv」で示すシングルユーザの復調器の S E R に一致する。

【 0 2 3 6 】

次に、図 1 6 は、ユーザ数 K を 4 とし、シンボル送信周期 T_S を 10 ns (従って、PRF は、 100 MHz ($= 1 / 10 [\text{ns}]$)) とした場合のシミュレーション結果を示している。なお、図 1 6 では、タイムホッピング時間 $t_n^{(k)}$ として、乱数を用いている。

【 0 2 3 7 】

図 1 6 では、マルチユーザの最適復調器 (「ML」で示す曲線) と、シングルユーザの復調器 (「Single-user」で示す曲線) のいずれの S E R にも、エラーフロアが生じている。

【 0 2 3 8 】

しかしながら、例えば、 E_b/N_0 が 15 dB の S E R に注目した場合、マルチユーザの最適復調器の S E R (「ML」で示す曲線) は、シングルユーザの復調器の S E R (「Single-user」で示す曲線) に比較して、4 倍以上改善されている。

【 0 2 3 9 】

即ち、シングルユーザの復調器では、1 のユーザごとに復調を行うが、マルチユーザの復調器では、4 人のユーザを、統合的に復調 (joint detection) することから、単純には、S E R が 4 倍改善されると予想される。しかしながら、図 1 6 において、マルチユーザの復調器の S E R には、予想を超えた改善が見られる。

【 0 2 4 0 】

次に、上述した一連の処理は、ハードウェアにより行うこともできるし、ソフトウェアにより行うこともできる。一連の処理をソフトウェアによって行う場合には、そのソフトウェアを構成するプログラムが、汎用のコンピュータ等にイン

ストールされる。

【0241】

そこで、図17は、上述した一連の処理を実行するプログラムがインストールされるコンピュータの一実施の形態の構成例を示している。

【0242】

プログラムは、コンピュータに内蔵されている記録媒体としてのハードディスク105やROM103に予め記録しておくことができる。

【0243】

あるいはまた、プログラムは、フロッピーディスク、CD-ROM(Compact Disc Read Only Memory)、MO(Magneto optical)ディスク、DVD(Digital Versatile Disc)、磁気ディスク、半導体メモリなどのリムーバブル記録媒体111に、一時的あるいは永続的に格納(記録)しておくことができる。このようなリムーバブル記録媒体111は、いわゆるパッケージソフトウェアとして提供することができる。

【0244】

なお、プログラムは、上述したようなリムーバブル記録媒体111からコンピュータにインストールする他、ダウンロードサイトから、デジタル衛星放送用の人工衛星を介して、コンピュータに無線で転送したり、LAN(Local Area Network)、インターネットといったネットワークを介して、コンピュータに有線で転送し、コンピュータでは、そのようにして転送されてくるプログラムを、通信部108で受信し、内蔵するハードディスク105にインストールすることができる。

【0245】

コンピュータは、CPU(Central Processing Unit)102を内蔵している。CPU102には、バス101を介して、入出力インタフェース110が接続されており、CPU102は、入出力インタフェース110を介して、ユーザによって、キーボードや、マウス、マイク等で構成される入力部107が操作等されることにより指令が入力されると、それにしたがって、ROM(Read Only Memory)103に格納されているプログラムを実行する。あるいは、また、CPU102は、ハード

ディスク 1 0 5 に格納されているプログラム、衛星若しくはネットワークから転送され、通信部 1 0 8 で受信されてハードディスク 1 0 5 にインストールされたプログラム、またはドライブ 1 0 9 に装着されたリムーバブル記録媒体 1 1 1 から読み出されてハードディスク 1 0 5 にインストールされたプログラムを、RAM(Random Access Memory) 1 0 4 にロードして実行する。これにより、CPU 1 0 2 は、上述したフローチャートにしたがった処理、あるいは上述したブロック図の構成により行われる処理を行う。そして、CPU 1 0 2 は、その処理結果を、必要に応じて、例えば、入出力インタフェース 1 1 0 を介して、LCD(Liquid Crystal Display)やスピーカ等で構成される出力部 1 0 6 から出力、あるいは、通信部 1 0 8 から送信、さらには、ハードディスク 1 0 5 に記録等させる。

【 0 2 4 6 】

ここで、本明細書において、コンピュータに各種の処理を行わせるためのプログラムを記述する処理ステップは、必ずしもフローチャートとして記載された順序に沿って時系列に処理する必要はなく、並列的あるいは個別に実行される処理（例えば、並列処理あるいはオブジェクトによる処理）も含むものである。

【 0 2 4 7 】

また、プログラムは、1 のコンピュータにより処理されるものであっても良いし、複数のコンピュータによって分散処理されるものであっても良い。さらに、プログラムは、遠方のコンピュータに転送されて実行されるものであっても良い。

【 0 2 4 8 】

なお、UWB復調部 1 3 では、他局間干渉の有無にかかわらず、受信信号 $r(t)$ を処理することが可能である。

【 0 2 4 9 】

【発明の効果】

以上の如く、本発明の通信装置および通信方法、並びにプログラムによれば、複数の通信端末からの、UWB(Ultra Wide Band)通信による送信信号に対応する受信信号と、複数の通信端末それぞれの送信信号として配置され得るパルスとの相関が演算され、その相関に基づき、複数の通信端末からの送信信号どうしの干渉

を考慮して、複数の通信端末それぞれが送信してきたデータが復調される。従って、UWB通信によるマルチアクセスを高いパフォーマンスで可能にする復調器を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明を適用したUWB通信システムの一実施の形態の構成例を示す図である。

【図 2】

通信装置 1_{k+1} の構成例を示すブロック図である。

【図 3】

UWB復調部 1 3 の構成例を示すブロック図である。

【図 4】

UWB通信による送信信号を説明する図である。

【図 5】

相関部 2 1 の構成例を示すブロック図である。

【図 6】

相関バンク $3 1_k$ の構成例を示すブロック図である。

【図 7】

相関器 $4 1_m$ の構成例を示すブロック図である。

【図 8】

シングルユーザの復調器の構成例を示すブロック図である。

【図 9】

最適復調器を構成するシンボル検出部 2 2 の構成例を示すブロック図である。

【図 1 0】

最適復調器としてのUWB復調部 1 3 の処理を説明するフローチャートである。

【図 1 1】

準最適復調器を構成するシンボル検出部 2 2 の第 1 の構成例を示すブロック図である。

【図 1 2】

準最適復調器としてのUWB復調部 1 3 の処理を説明するフローチャートである

【図 13】

準最適復調器を構成するシンボル検出部 22 の第 2 の構成例を示すブロック図である。

【図 14】

準最適復調器としての UWB 復調部 13 の処理を説明するフローチャートである。

【図 15】

シミュレーション結果を示す図である。

【図 16】

シミュレーション結果を示す図である。

【図 17】

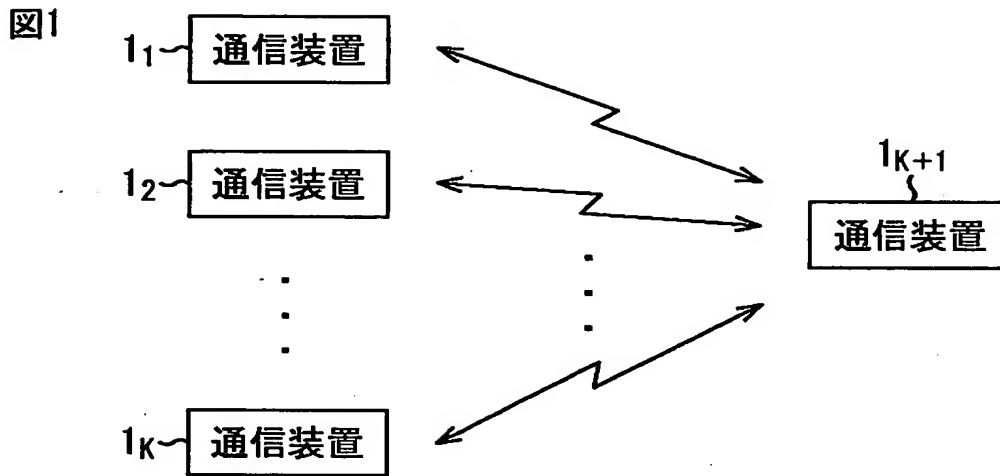
本発明を適用したコンピュータの一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

【符号の説明】

1₁乃至 1_{K+1} 通信装置, 11 UWB変調部, 12 アンテナ, 13 UWB復調部, 21 相関部, 22 シンボル検出部, 23 干渉キャンセラ, 31₁乃至 31_K 相関バンク, 32₁乃至 32_K スイッチ, 41₁乃至 41_M 相関器, 51 TH時間生成器, 52 パルス発生器, 53 乗算器, 54 積分器, 55 S/H回路, 61 相関バンク, 71 相関行列演算器, 72 エネルギー推定器, 73 シンボルパターン発生器, 81 相関行列演算器, 82 逆行列演算器, 83 逆相関演算器, 84 最大値検出器, 91 相関行列演算器, 92 エネルギー推定器, 93 平均自乗誤差演算器, 94 最大値検出器, 101 バス, 102 CPU, 103 ROM, 104 RAM, 105 ハードディスク, 106 出力部, 107 入力部, 108 通信部, 109 ドライブ, 110 入出力インタフェース, 111 リムーバブル記録媒体

【書類名】 図面

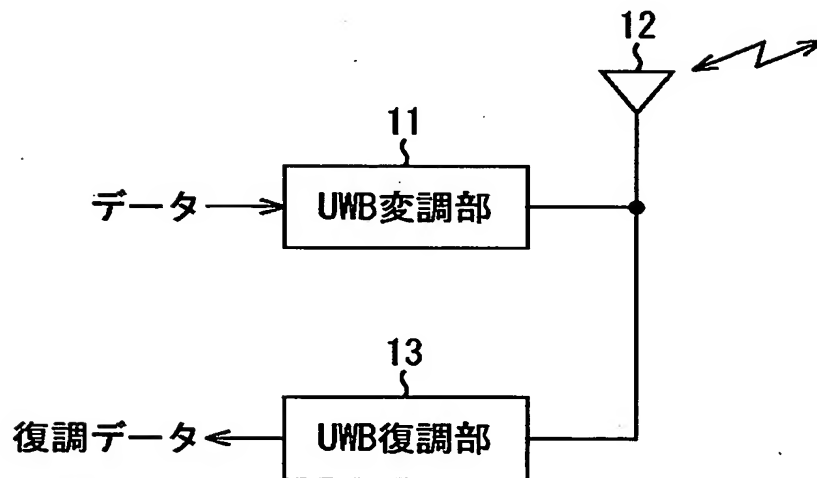
【図 1】



UWB通信システム

【図 2】

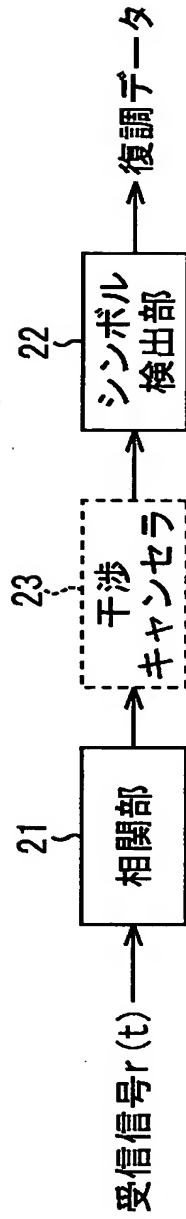
図2



通信装置 1K+1

【図3】

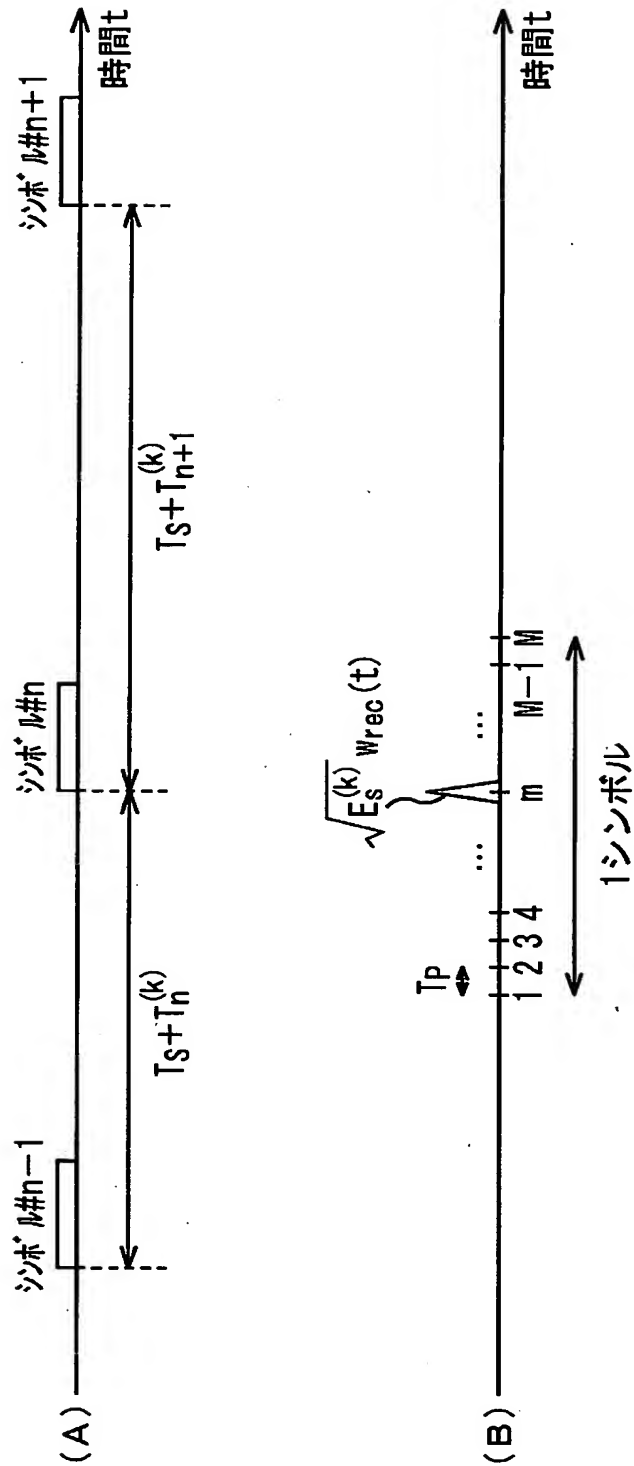
図3



UWB復調部 13

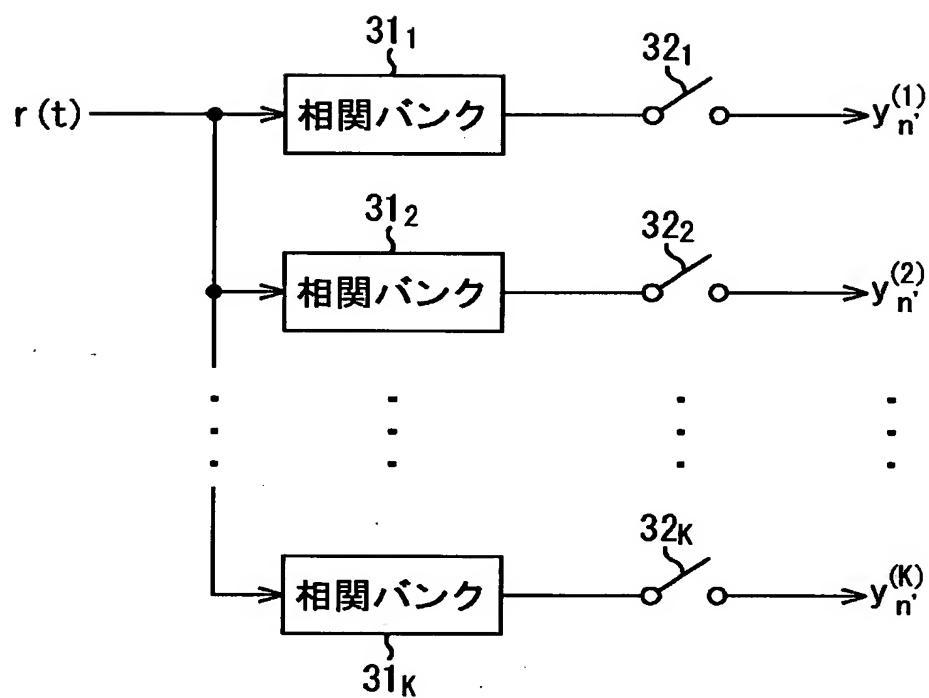
【図4】

図4



【図 5】

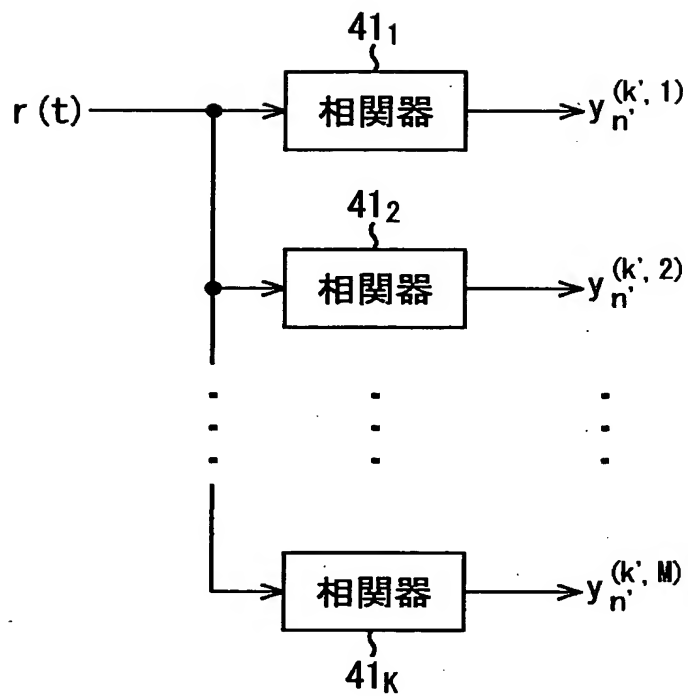
図5



相関部 21

【図 6】

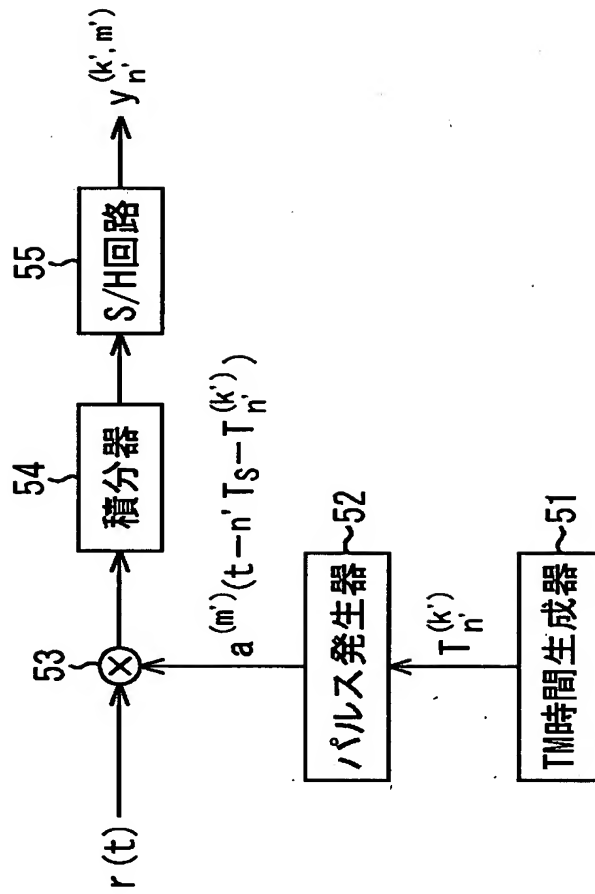
図6



相関バンク 31k'

【図 7】

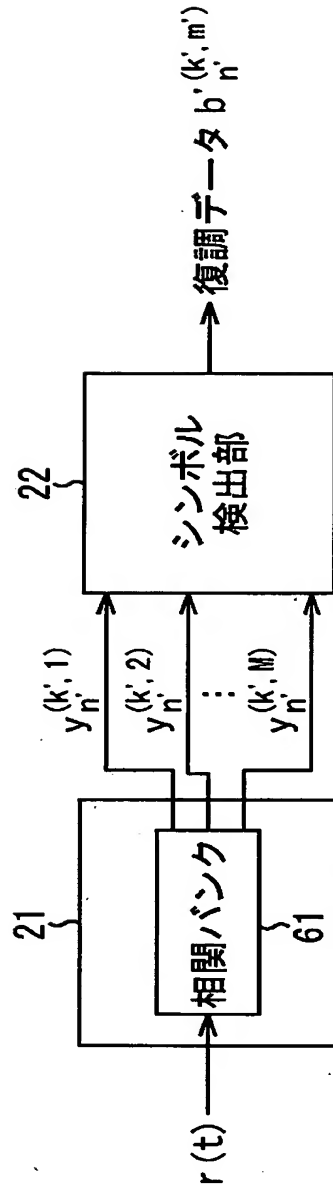
図7



相関器 41_{m'}

【図 8】

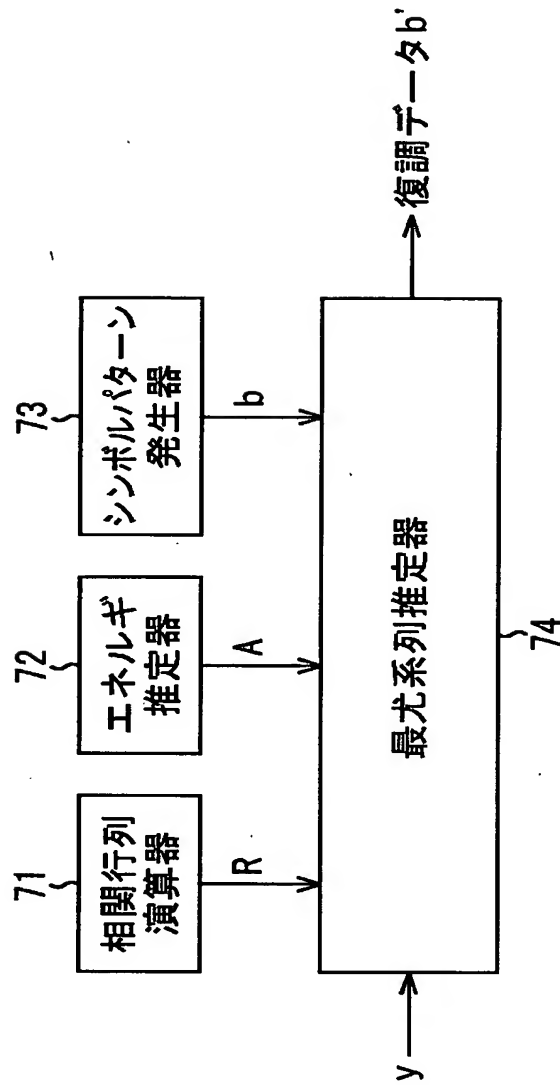
図8



シングルユーザの場合

【図 9】

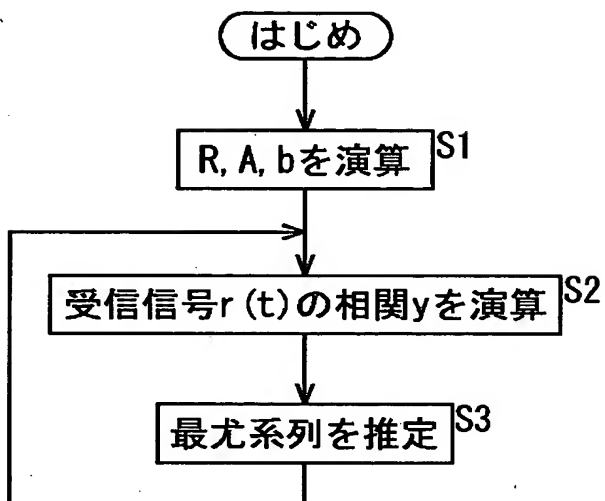
図9



シンボル検出部 22

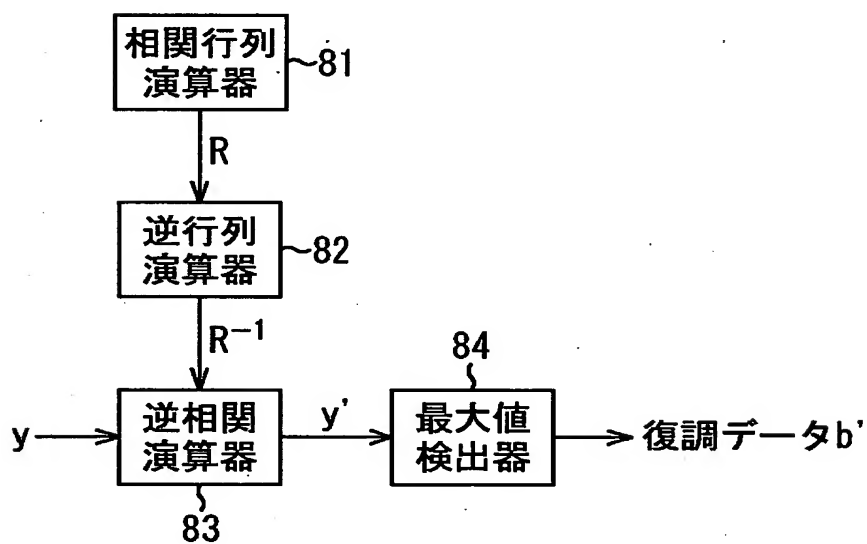
【図10】

図10



【図11】

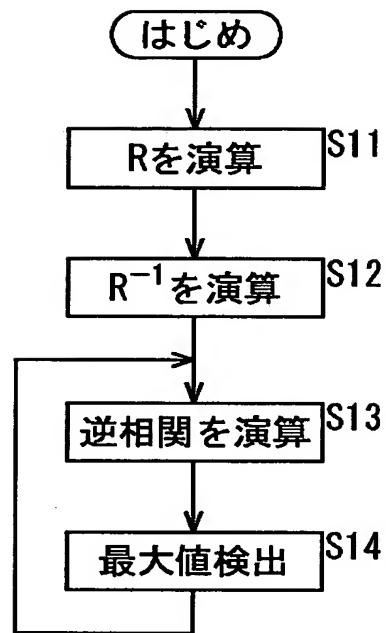
図11



シンボル検出部 22

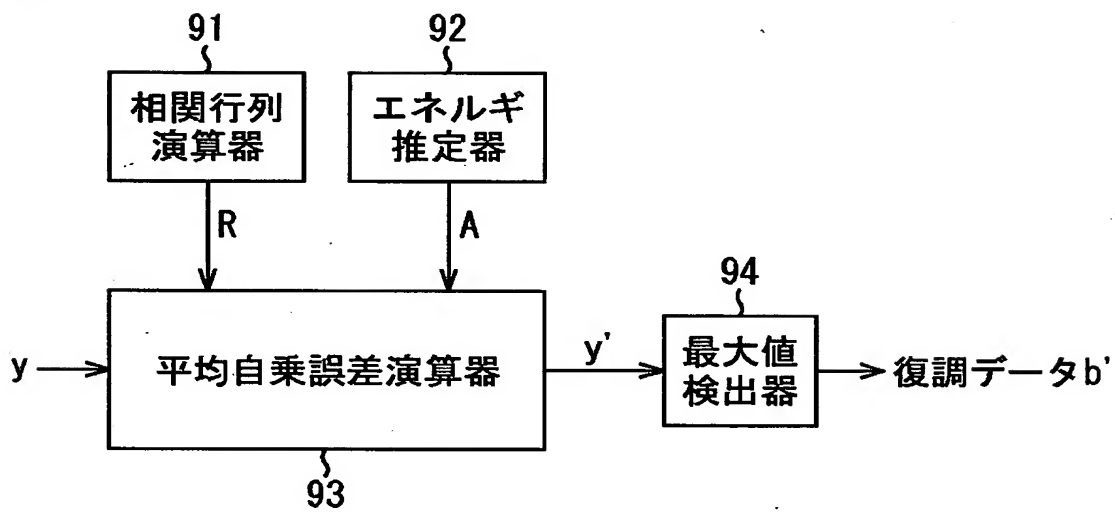
【図12】

図12



【図13】

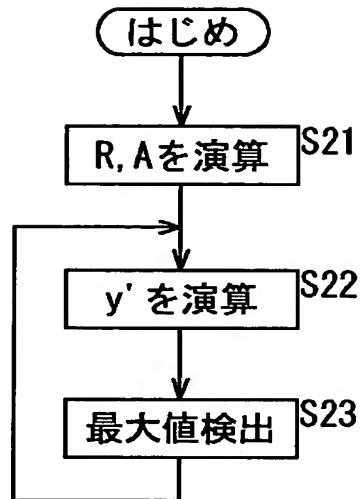
図13



シンボル検出部 22

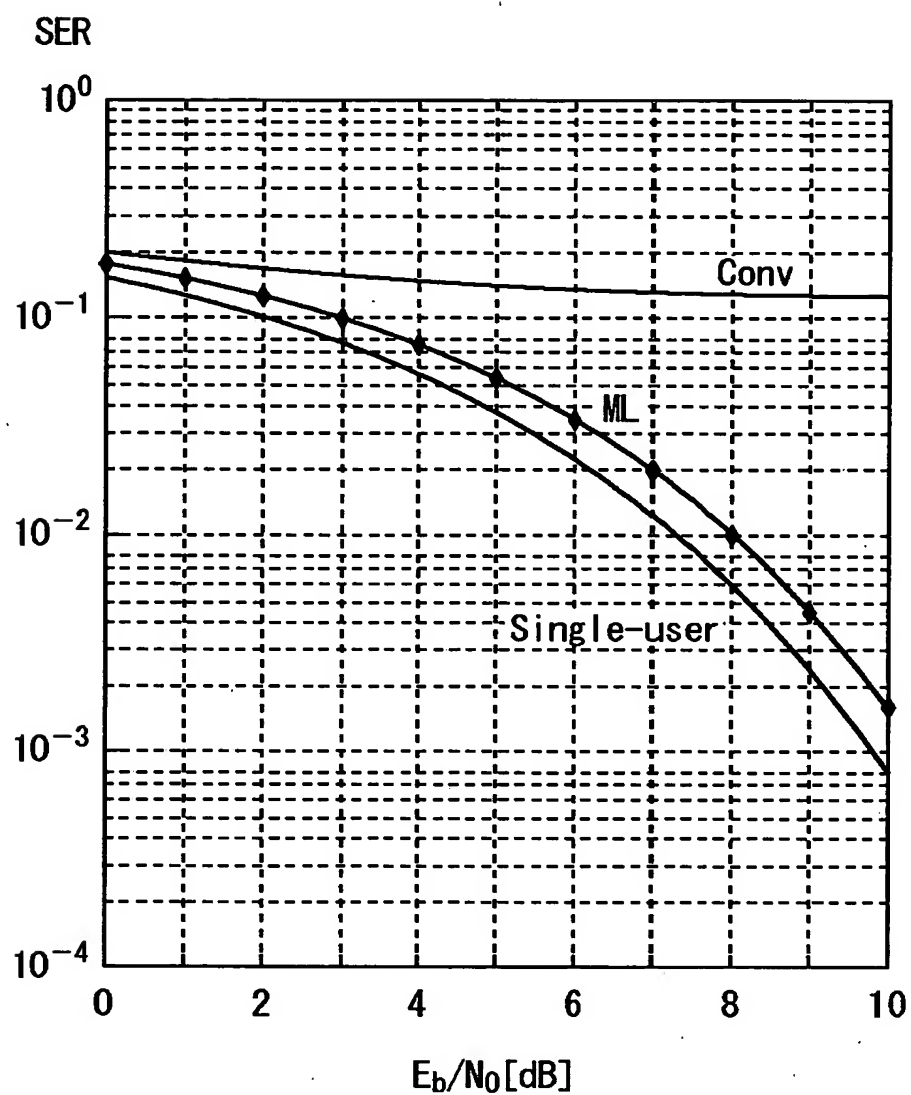
【図 14】

図14



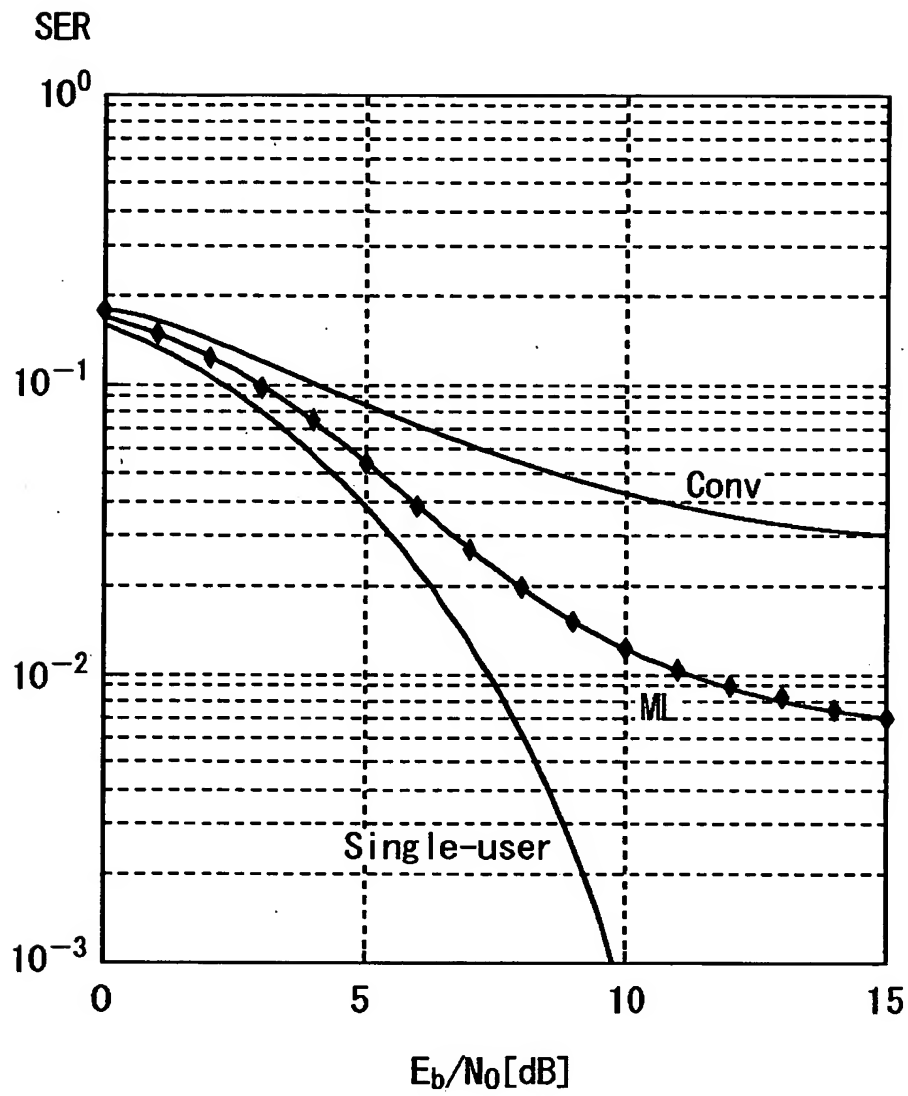
【図15】

図15



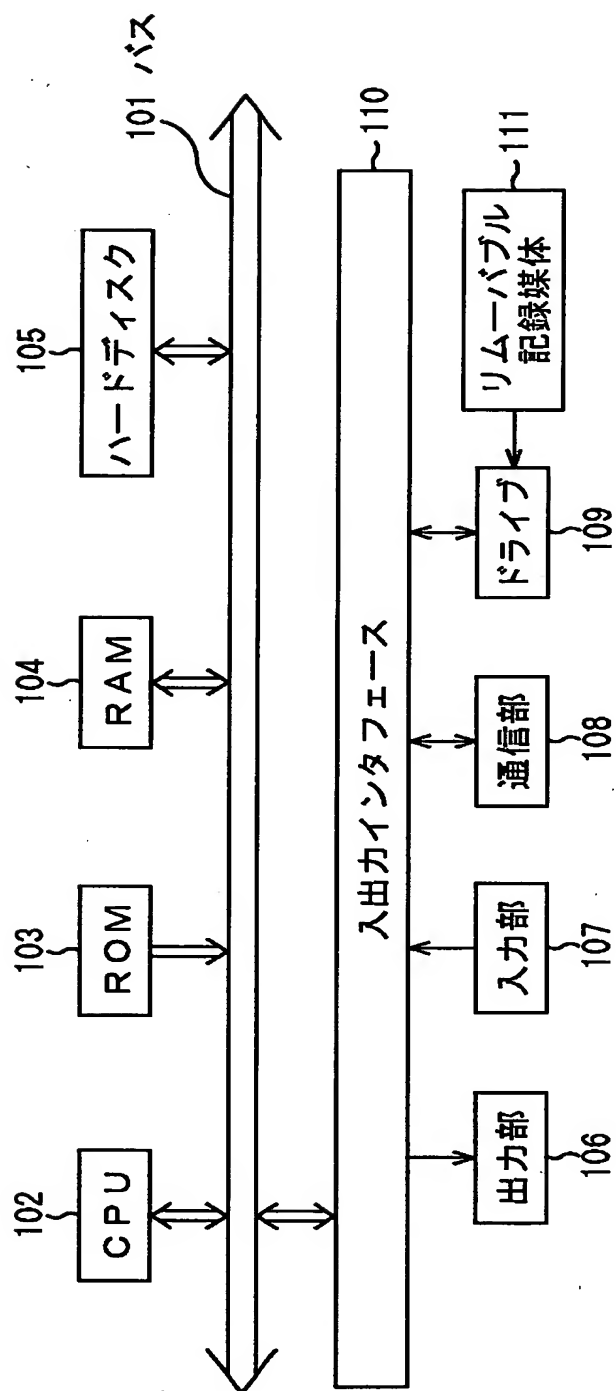
【図 16】

図16



【図 17】

図17



コンピュータ

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 UWB(Ultra Wide Band)通信によるマルチアクセスを高いパフォーマンスで可能にする復調器を提供する。

【解決手段】 通信装置 1_{K+1} では、複数の通信端末 1_1 乃至 1_K からの、UWB(Ultra Wide Band)通信による送信信号に対応する受信信号と、複数の通信端末 1_1 乃至 1_K それぞれの送信信号として配置され得るパルスとの相関が演算され、その結果得られる相関統計量に基づき、複数の通信端末 1_1 乃至 1_K からの送信信号どうしの干渉（他局間干渉）を考慮して、複数の通信端末 1_1 乃至 1_K それぞれが送信してきたデータが復調される。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002185]

1. 変更年月日 1990年 8月30日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都品川区北品川6丁目7番35号
氏 名 ソニー株式会社